This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

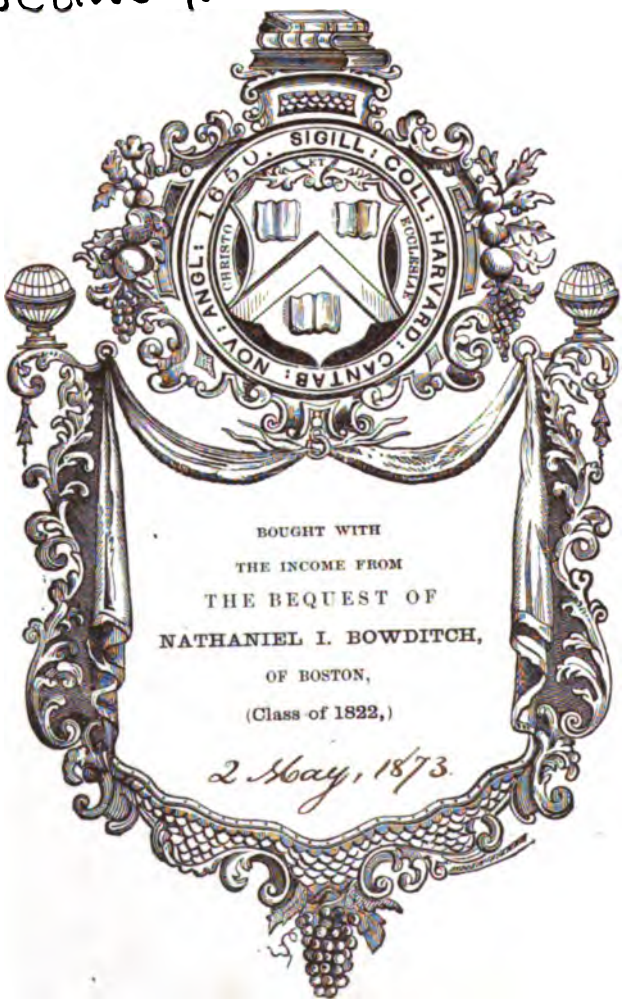
Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`

WIDENER LIBRARY
HX GZU3 5

Digitized by Google

734.62

Sci1085.70



SCIENCE CENTER LIBRARY

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

REPERTORIUM

FÜR

PHYSIKALISCHE TECHNIK

FÜR

MATHEMATISCHE UND ASTRONOMISCHE

INSTRUMENTENKUNDE.

HERAUSGEGEBEN

VON

Dr. PH. CARL,
PRIVATDOCENT AN DER UNIVERSITÄT MÜNCHEN.

ZWEITER BAND.

MIT EINEM ATLAS VON 40 TAFELN.

MÜNCHEN, 1867.
VERLAG VON R. OLDENBOURG.

Digitized by Google

Sci1085.70

Digitized by Google

INHALT.

Seite

Zur Theorie der Heliostaten. Von R. Radau. (Tafel I.) 1
Ueber Heliostaten. Von Prof. Dr. Zech in Stuttgart. (Tafel II.) 10
Apparat zu Vorlesungsversuchen über die Gas- und Dampfspannungen. Von Dr. Frhr. v. Feilitzsch, Prof. in Greifswald. (Tafel IV Figur 1.) . . 24
Der Tachytrop, ein Apparat zur raschen und sicheren Herstellung von verschiedenen Combinationen galvanischer Elemente. Von Ph. Carl. (Tafel III.) 27
Ueber Distanzmesser ohne Standlinie und ohne Winkelmessung. Schreiben des Herrn A. Martins an den Herausgeber 29
Netze und Kreismikrometer auf Glas für Mikroskope und Fernrohre von F. W. Breithaupt & Sohn in Cassel. (Figur 2 Tafel IV.) 34
Die Schraube in ihrer Anwendung auf physikalische, mathematische und astronomische Instrumente. Von Ph. Carl. (Tafel V—VII.) 37
Kleinere Mittheilungen.
Das Perspectometer von Mignerat. (Tafel VIII.) 56
Das Meyerstein'sche Prismensphärometer. (Tafel IV, Figur 3—6.) . 58
Actinograph und Ozonograph. Von Pocy. 60
Darlot's photographisches Universalobjectiv 62
Dutirou's Spectro-Refractometer 63
Bibliographische Notiz 64
Regnault's Apparate zur Untersuchung der Compressibilität, Ausdehnung, specifischen Wärme u. s. w. in der ihnen von J. Silbermann gegebenen Einrichtung. Mitgetheilt von Dr. Jos. Krist. (Tafel IX — XXI.) . . 65
Theorie der Fehler des Prismenkreises von Pistor und Martins. Von Professor Dr. Zech 106
Ueber die persönlichen Gleichungen von R. Radau. (Fortsetzung und Schluss von p. 321 des I. Bandes.) 115
Kleinere Mittheilungen.
Neuer Stern-Spectralapparat von P. Secchi 157
Gerardin's Eisenkohlenkette 158
Hédouin, Anwendung der Elektricität zu unterseeischen Tiefenmessungen 158
Gervais Anwendung der Geissler'schen Röhren, um unter Wasser Licht zu erzeugen 158
Zur Literatur über Kohlenlicht-Regulatoren 159
Molin's electromagnetischer Motor 159

Digitized by Google

Seite

Die selbstregistrirenden meteorologischen Instrumente der Sternwarte in Bern. Von Dr. H. Wild, Prof. der Physik an der Universität Bern und Director der Sternwarte daselbst. (Tafel XXII — XXX.) 161
De la Rue und die Photographie des Himmels 202
Das Polarisationsprisma. Von Hartnack und Prazmowski 217
Kleiner Gruben-Theodolit, construirt von G. Breithaupt, Inhaber des mech. math. Instituts von F. W. Breithaupt & Sohn in Cassel. (Taf. XXXI.) 224
Der Hansen'sche Contactapparat. (Tafel XXXII.) 227
Mittheilungen von R. Radau in Paris.
Zu dem Aufsatz über die persönlichen Gleichungen 234
Zusätze zu dem Aufsatz über Heliostaten von R. Radau 234
Ueber ein Hypsometer mit directer Ablesung von R. Radau 238
Construction von Spectroscopen ohne Abweichung, mit 1 oder 2 Prismen 241
Eine neue Form des Tachytropen. Von Ph. Carl. (Tafel XXXIII, Figur 1—3.) 243
Ueber ein Marine-Chronometer mit electrischer Registrirung. Von Dr. Hirsch. (Tafel XXXIII, Figur 4 und 5.) 245
Ueber Thermometer von Ph. Carl. (Tafel XXXIV.) 249
Ueber die Herstellung von Metallspiegeln. Von G. Quincke. (Figur 9—12 auf Tafel XXXIV.) 278
Der Foucault'sche Regulator zur Herstellung gleichförmiger Bewegung bei Uhrwerken. (Tafel XXXVI.) 289
Vorlesungsversuche von W. Beetz. (Tafel XXXV.) 298
Augenmodell von W. Beetz. (Tafel XXXV.) 302
Der neue Jähns'sche Messtisch. Mittheilung von Ernst Fischer, Ingenieur. (Tafel XXXVII — XXXIX.) 304
Kleinere Mittheilungen.
Deleuil's genaue Wagen. (Tafel XL.) 312
F. W. Breithaupt & Sohn. Wage mit vertical stehendem Präcisionsbogen. (Tafel XL.) 312
Das Bothe'sche Tangenten-Photometer 313
Ueber den neuen Meridiankreis der Leipziger Sternwarte 314
Bibliographie 316

Digitized by Google

Zur Theorie der Heliostaten[1]).

Von

R. Radau.

(Hiezu Tafel I.)

Man nennt Heliostat ein Instrument, welches die Sonnenstrahlen, deren Richtung sich in Folge der täglichen Bewegung fortwährend ändert, in einer bestimmten gegebenen Richtung festzuhalten bezweckt. Dies wird gewöhnlich durch einen Spiegel erreicht, den ein Uhrwerk dreht. Es kommt also darauf an, die Normale der Spiegelebene beständig in eine solche Lage zu bringen, dass sie den Winkel halbirt, den der einfallende Strahl mit dem fixen reflectirten Strahl macht.

Die directeste, aber wohl in Bezug auf practische Ausführbarkeit gewiss nicht einfachste Lösung dieser Aufgabe liefert der Heliostat von Silbermann, der auf folgendem Princip beruht. Ein Uhrwerk, das in vierundzwanzig Stunden eine Umdrehung macht und dessen Ebene parallel zum Aequator gestellt ist, trägt einen Sonnenzeiger, d. h. einen Schaft, der beständig auf die Sonne gerichtet, also parallel zu den einfallenden Strahlen bleibt. Ein zweiter Schaft oder Zeiger wird in der Richtung, welche man den reflectirten Strahlen geben will, fixirt; es ist also auf diese Art die veränderliche Richtung der einfallenden und die unveränderliche der reflectirten Strahlen materiell dargestellt. Verlängert schneiden beide sich in einem Puncte der gleichfalls verlängert gedachten Rotationsaxe des Uhrwerks, und um denselben Punkt dreht sich die Ebene eines Spiegels in solcher Weise, dass ihre Normale beständig in der Ebene der beiden Zeiger (des einfallenden und des reflectirten Strahls) bleibt und mit denselben gleiche Winkel einschliesst. Daraus folgt denn auch, dass die Spiegelebene in jedem Augenblick senkrecht zu dieser Ebene steht.

---

1) Nach dem Moniteur scientifique vom 1. Januar 1864, p. 29—33.

Digitized by Google

Was nun die Ausführung dieser Construction betrifft, so ist man gezwungen, den Sonnenzeiger an einem Kreisbogen zu befestigen, der in einer von der Uhraxe getragenen Hülse gleitet. Die Uhraxe ist parallel zur Weltaxe; der Kreisbogen, der sich mit ihr dreht, stellt einen Declinationskreis vor; er ist mit einer Theilung und einem Diopter versehen, damit man den Sonnenzeiger auf die Sonne einstellen kann (Fig. 1). Der andere Zeiger sitzt auf einem Kreisbogen, dessen Hülse von einem die Uhraxe umschliessenden cylindrischen Mantel getragen wird; durch Drehung des Mantels und Verschiebung des Bogens kann man den Zeiger in jede beliebige Richtung bringen. Die gabelförmigen Enden der beiden Zeiger sind durch Gelenke so mit einander verbunden, dass sie gemeinschaftlich die Rotationsaxe des Spiegels tragen; diese Axe bleibt immer senkrecht zu der Ebene der Zeiger, indem die Gabeln sich frei auf ihren Stielen drehen können. Die Normale des Spiegels stellt ein durchbrochenes Lineal vor, welches durch zwei an den Gabeln angebrachte bewegliche Arme beständig in gleichen Abständen von den beiden Zeigern erhalten wird. Der hauptsächlichste Uebelstand dieses sonst eleganten Apparates besteht in der Schwierigkeit, die verschiedenen Gelenke so genau zu construiren, dass die Drehung nicht sprungweise vor sich geht.

Der Heliostat von Fahrenheit könnte als ein specieller Fall dieser allgemeineren Lösung betrachtet werden. Nehmen wir an, dass der reflectirte Strahl die Richtung nach dem Himmelspol erhalten soll. Der unbewegliche Zeiger des eben beschriebenen Apparates wird dann parallel zu der Uhraxe; die Spiegelnormale halbirt den Winkel zwischen dieser Axe und den Sonnenstrahlen, sie behält also zu der Axe eine constante Neigung und dreht sich mit ihr in 24 Stunden einmal herum. Wie man sieht, braucht man also in diesem Falle den Spiegel nur auf der Uhraxe zu befestigen und ihm eine solche Neigung zu geben, dass seine Normale den Polabstand der Sonne halbirt; die Sonnenstrahlen werden dann den Tag über in der Richtung des Pols reflectirt (Fig. 2). Will man sie in eine andere Richtung bringen, so muss man zu diesem Behufe einen zweiten Spiegel anwenden, dem man eine feste Aufstellung giebt.

Ein anderer Specialfall ist dieser: man fixirt die reflectirten Strahlen in einer der Richtungen, welche die Sonnenstrahlen selbst im Laufe des Tages annehmen. Der unbewegliche Zeiger wird dann gegen die Uhraxe unter einem Winkel geneigt, der dem Polabstand der Sonne gleich ist, und man sieht leicht ein, dass die Spiegelnormale immer

Digitized by Google

senkrecht zu der Uhraxe, also der Spiegel parallel zu derselben bleiben muss, ferner dass die Drehung des Spiegels nur halb so gross als diejenige des Uhrwerks ist, d. h. dass er nur eine Umdrehung in 48 Stunden macht. Es genügt also, den Spiegel senkrecht auf das Uhrwerk zu stellen (parallel zur Weltaxe) und die Umdrehungsgeschwindigkeit des letzteren auf die Hälfte zu reduciren (auf eine Umdrehung in 48 Stunden). Wir haben dann den von August angegebenen und von Otto von Littrow[1]) zuerst ausgeführten Heliostaten vor uns (Fig. 3). Derselbe fixirt die Sonnenstrahlen in einer beliebigen Richtung, die aber auf dem von den Sonnenstrahlen innerhalb der nächsten vierundzwanzig Stunden beschriebenen Kegel liegen muss, d. h. die mit der Aequatorebene einen der Declination der Sonne gleichen und entgegengesetzten Winkel bildet. Natürlich kann diese Richtung noch immer horizontal gemacht werden, indem man dieselbe mit der Richtung der Strahlen der auf- und untergehenden Sonne zusammenfallen lässt. Dieser Heliostat löst also das Problem in genügender Weise, obgleich nicht ganz allgemein. Was Construction anlangt, ist er gewiss der einfachste von allen.

In allen bisher betrachteten Fällen drehte sich der Spiegel um die Uhraxe oder um einen in derselben gelegenen Punct. Anders gestaltet sich die Aufgabe, wenn der Drehungspunct ausserhalb der Uhraxe liegen soll. (Fig. 4). Sei M der Mittelpunct des Spiegels, MN seine Normale, MF die rückwärts verlängerte fixe Richtung der reflectirten Strahlen, MS der Schnitt der Spiegelebene mit der Ebene NMF. Ziehen wir nun eine Gerade SFN parallel zu den einfallenden Strahlen, so bilden FN und FM mit der Normale MN gleiche Winkel, also $FN = FM$; und da wir bei M einen rechten Winkel haben, auch $FM = FS$. Es ist also F der Mittelpunct von NS. In dieser Bemerkung ist das Princip der Heliostaten von 's Gravesande, Gambey, Foncault u. s. w. enthalten.

In der That, die Sonnenstrahlen SFN beschreiben im Laufe des Tages um den fixen Punct F einen Doppelkegel $NN'\ldots$ und $SS'\ldots$, dessen Axe die Weltaxe ist. Zu gleicher Zeit stützt sich die Normale MN beständig auf den Parallelkreis $NN'\ldots$, und die Spiegelebene MS auf den Parallelkreis $SS'\ldots$

Gambey hat die Gerade MF materiell, durch einen im Puncte

1) Näheres über den v. Littrow'schen Heliostaten findet sich im ersten Bande des Repertoriums pag. 46 ff.

Digitized by Google

F festsitzenden und an seinem freien (gabelförmigen) Ende einen Spiegel M tragenden Stiel, dargestellt. Die Gabel dreht sich frei auf ihrem Stiel; ihre Zinken halten die Rotationsaxe des Spiegels, welche immer zu MF senkrecht bleibt; es kann also der Spiegel jede beliebige Neigung annehmen. Ein Sonnenzeiger FS dreht sich mit der Sonne um den Punct F; er wird von einem Aequatorial-Uhrwerk getrieben, auf welchem er mit seinem unteren gabelförmigen Ende aufsitzt (Fig. 5). Sein oberes Ende S trägt eine Hülse, in welcher ein am Spiegel befestigter Stiel MS gleitet, der zu der Rotationsaxe des Spiegels senkrecht ist. Da nun diese Axe ausserdem noch auf MF senkrecht steht, so bleibt sie stets senkrecht zu der Ebene MFS; und die Spiegelebene selber bleibt folglich auch senkrecht auf dieser Ebene, woraus dann folgt, dass die Normale $M\hat{N}$ immer in dieselbe Ebene fallen muss. Der Punct S ist von F eben so weit entfernt als M; dadurch ist aber der oben angegebenen Construction Genüge geleistet, wir haben $FS = FM = FN$, die Normale MN bildet gleiche Winkel mit FM und mit der Richtung der einfallenden Strahlen $F'N$, diese letzteren werden also in der Verlängerung von FM reflectirt. So einfach diese Vorrichtung im Princip erscheint, so complicirt wird sie in der Ausführung, wie man aus der Figur 6 ersieht [1]). Man könnte die Construction dadurch noch variiren, dass man die Normale MN ebenso wie den Stiel MS auf der Stange SFN gleiten liesse.

'S Gravesande hat sich anders geholfen. Er befestigt den Spiegel M auf einer verticalen Säule (Fig. 7), und versieht ihn mit einem senkrechten Stiel MN, der in einer Hülse N gleitet, welche den Parallelkreis NN' beschreibt. Diese Hülse sitzt in einer Gabel am Ende eines Zeigers CN, den ein Aequatorial-Uhrwerk treibt. Der Apparat ist unbequem, denn die Höhe des Punctes F über dem Kreise NN', den der Zeiger durchläuft, hängt von der Declination der Sonne ab.

Man verfährt nun folgendermassen (nach der verbesserten Construction von Charles). Der Abstand CF des Punctes F von der Ebene CNN' ist gleich der Länge des Zeigers CN, multiplicirt mit der Tangente der Declination; die Projection von CF auf den Horizont erhalten wir, wenn wir CF mit dem Cosinus der Breite multipliciren; dieselbe ist also $= CN.\,\mathrm{tang}\,D.\cos\lambda$. Indem man nun den Punct F immer senkrecht über einem bestimmten Punct F' der Basis

1) Mehrere dieser Figuren sind aus der Physik von Daguin (4. Band) entlehnt.

Digitized by Google

annimmt, hat man das Uhrwerk diesem letzteren Puncte so lange zu nähern, bis die Projection des Punctes C von F' um die Grösse $CN.\ \text{tang}\ D.\ \cos\lambda$ absteht; zu diesem Behuf gleitet der Fuss des Uhrwerks in einer Leiste, die mit einer passenden Theilung versehen ist. Hat man auf diese Weise den Standpunct für die Uhr bestimmt, so lässt man die Säule M gleichfalls in ihrer Leiste gleiten, bis sie von F' so weit entfernt ist, dass $FM = FN$, d. h. dass die fixe Richtung FM die Säule in einem Puncte M schneidet, dessen Abstand von $F = CN.\ \sec D$ ist. Die Leiste, welche diese Säule trägt, muss natürlich um F' gedreht werden, bis sie im Azimuth von FM liegt. Endlich wird der Spiegel in die Höhe geschraubt, bis er im Puncte M angekommen ist.

Diese Einrichtung ist offenbar äusserst weitläufig und unbequem. Sie wird sehr vereinfacht, wenn man mit L. Foucault den Zeiger CN durch einen Sonnenzeiger FN von unveränderlicher Länge ersetzt, der in F befestigt wird und gegen die Axe CF eine dem Polabstand der Sonne gleiche Neigung erhält. Dann steht die Uhr fest, und man hat blos die Colonne M gegen den Punct F' zu verschieben, bis $FM = FN$ geworden ist. Statt der Leitstange FN könnte man übrigens auch einen Declinationskreisbogen anwenden, dessen Mittelpunct F wäre und auf dem man die Hülse N bis zu dem für den Tag passenden Theilstrich verschieben könnte.

Bevor wir aber näher auf die Beschreibung des Foucault'schen Apparates eingehen, müssen wir einige Betrachtungen über die Drehung des Spiegels vorausschicken.

Im allgemeinen Fall muss der Spiegel frei um einen Punct seiner Fläche beweglich sein. Diese Bedingung wird dadurch erfüllt, dass man ihm eine, um eine feste Gerade drehbare, Rotationsaxe giebt. Die Rotationsaxe bleibt beständig in einer auf dieser Geraden senkrechten Ebene; da sie ausserdem auch in der Spiegelebene liegt, deren Lage durch die zu reflectirenden Strahlen bestimmt ist, so kann sie in jedem Augenblick nur eine Richtung annehmen, und es folgt daraus, dass der Spiegel auch in seiner eigenen Ebene orientirt ist und sich nicht um seine Normale drehen kann. Sehen wir nun zu, in wie weit die Wahl der Rotationsaxe willkührlich bleibt.

Man begreift von vorneherein, dass die Rotationsaxe im Allgemeinen nicht festgelegt werden darf, denn die Spiegelnormale würde in diesem Falle nicht einen Kegel, sondern eine Ebene beschreiben.

Digitized by Google

Das ist aber nur dann zulässig, wenn der Kegel, dessen Spitze in M liegt, sich auf eine Ebene reducirt, indem der Punct M in den Kreis NN' fällt; FM liegt nun auf der Kegelfläche $FNN'\ldots$ Der Spiegel dreht sich dann um eine Axe, die auf der Ebene NN' senkrecht steht, und wir haben wieder den August'schen Heliostaten, von dem weiter unten Mehreres.

Im Allgemeinen aber, sagten wir, muss die Rotationsaxe selber drehbar sein. Was geschieht nun, wenn man die Gerade $MS\ldots$ in der Spiegelebene fixirt und dieselbe zwingt, auf dem Kreise SS' zu bleiben, d. h. wenn der Spiegel von einer Leiststange MS geführt wird?

Ein Blick auf die Figur 4 lehrt, dass der Spiegel dadurch in seiner Ebene orientirt ist. Ferner sieht man, dass ein auf MS senkrechter Schnitt MR der Spiegelebene nothwendiger Weise auf der Ebene des Dreiecks NMS, und folglich auch auf der festen Geraden FM senkrecht steht. Der Schnitt MR bleibt also in einer zu FM senkrechten festen Ebene, und man kann ihn zur Rotationsaxe des Spiegels wählen, indem man ihn um FM drehbar macht. Ja, es lässt sich beweisen, dass MR die einzige Linie in der Ebene des Spiegels ist, welche die Eigenschaft besitzt, in einer festen Ebene zu bleiben, wenn sich der Spiegel beständig auf den Stiel MS stützt; woraus sich dann ergibt, dass man in diesem speciellen Fall nur diese und keine andere Linie als Rotationsaxe gebrauchen kann.

In der That, die Einfallsebene, in welcher auch die Normale MN und der Stiel MS liegen, dreht sich um die feste Gerade MF. Legen wir nun durch M eine beliebige feste Ebene, deren Normale MC sei, und welche die Einfallsebene in MA, die Spiegelebene in MB schneide, so lässt sich zeigen, dass die Schnittlinie MB mit MS oder MR im Allgemeinen keinen unveränderlichen Winkel bilden, also nicht in der Spiegelebene fest liegen kann (Fig. S.).

Nennen wir f den Winkel, den die Normale MC der willkührlichen Ebene mit MF bildet, und u den Winkel SMB, so lässt sich u ausdrücken durch eine Gleichung von der Form:

$$tg\, u = \frac{\sqrt{\alpha + \beta \cos t}}{\sin f} \cdot \frac{a + b \cos t + c \sin t}{a' + b' \cos t + c' \sin t},$$

wo t die Zeit bedeutet. Die Coëfficienten α, β hängen von den Polabständen der Sonne und der Linie MF, die übrigen sechs Coëfficienten ausserdem noch von der Lage der willkührlichen Ebene ab. Soll u constant werden, so muss man aus diesem Ausdruck die Zeit fort-

Digitized by Google

schaffen; das ist aber, wegen der besondern Beschaffenheit der Coëfficienten, nur auf zwei Wegen möglich. Der erste besteht darin, dass man $f = o$ setzt, wodurch der Nenner verschwindet und $u = 90^0$ wird, so dass also MB wieder mit MR zusammenfällt. Der zweite Weg besteht darin, dass man den Zähler verschwinden macht, indem man $a = b = c = o$ setzt; dies ist aber nur unter der Bedingung möglich, dass die Declination von MF gleich derjenigen der Sonne ist, d. h. dass der Punct M auf dem Parallelkreise $SS'\ldots$ liegt. Es wird dann $u = o$, d. h. MB fällt mit MS zusammen. Die Linie MS bewegt sich in diesem Falle in der Ebene $SS'\ldots$ Wir kommen weiter unten auf diese Construction zurück.

Wenn also der Spiegel durch einen Stiel MS geleitet wird, so ist die zu MS senkrechte Linie MR die einzige in der Spiegelebene, welche in einer festen Ebene (nämlich senkrecht auf MF) bleibt, also auch die einzige, die als Rotationsaxe brauchbar ist. Sobald man nun nicht mehr MF, sondern eine andere Gerade MC zur Unterstützung der Rotationsaxe des Spiegels (MB) benutzen will, wird diese Rotationsaxe mit MS einen veränderlichen Winkel bilden, man wird also auf den festen Stiel MS verzichten müssen. Eine verticale Unterstützung, zum Beispiel, wie sie bei dem 's Gravesand'schen Heliostaten vorkommt, orientirt den Spiegel in seiner Ebene ganz anders als ihn der Stiel MS orientiren würde (wir setzen immer voraus, dass MS auf dem Parallelkreis $SS'\ldots$ herumgeführt wird). Will man daher bei verticaler Unterstützung des Spiegels dennoch einen Stiel MS anbringen, so bleibt nichts übrig, als die Spiegelebene von der Rotationsaxe zu trennen, indem man den Spiegel auf einer diese Axe enthaltenden Platte, um seine Normale drehbar macht. Dies ist der Fall bei den Foucault'schen Heliostaten. Der Spiegel hat hier eine längliche Form, und der Stiel MS zwingt ihn, beständig seine grösste Dimension (welche mit MS parallel ist) den Sonnenstrahlen zuzukehren, wodurch Lichtverlust vermieden wird. Er ruht auf einer Scheibe, durch deren Mitte seine Normale hindurchgeht; die Scheibe hat eine horizontale, in der Horizontalebene drehbare Rotationsaxe, und die Normale wird von einem Sonnenzeiger FN auf dem Parallelkreis $NN'\ldots$ herumgeführt. Diese Normale gibt dem Spiegel und seiner Unterlage die erforderliche Neigung; der Stiel MS orientirt den Spiegel in seiner Ebene, indem er ihn auf seiner Unterlage um die Normale dreht (Fig. 9).

Digitized by Google

Was die Bewegung des Stiels MS anlangt, so wird er auf dem Kreise $SS'..$ durch die Stange FS herumgeführt, welche nur die Verlängerung von FN ist. Da aber jetzt der Mittelpunct der Spiegelebene nicht in die Rotationsaxe der Unterlage fällt, so trifft der Stiel, wenn er an der Spiegelebene befestigt ist, die Stange FS nicht im Puncte S, sondern in einer grösseren Entfernung von F, die übrigens nicht constant ist; desshalb ist der Stiel ein durchbrochenes Lineal, welches auf der Stange FS gleiten kann. Man brauchte indessen nur MS unter dem Spiegel so anzubringen, dass der Stiel in der Ebene der Rotationsaxe läge, um die Entfernung FS wieder constant zu machen, und für die beiden Enden S und N der Leitstange dieselbe Vorrichtung benutzen zu können.

Die verticale Aufstellung zieht Foucault wegen der grossen Dimensionen der Spiegel vor, die zu photographischen Zwecken benutzt werden sollen.

Wir können nun die Heliostaten von Fahrenheit, von August, und einen dritten, den ich weiter unten beschreiben werde, als particuläre Lösungen unserer Aufgabe ansehen. Nehmen wir zuerst an, dass FM in die Axe des Kegels $FNN'...$ fallen, d. h. nach einem der beiden Weltpole gerichtet sein soll, so dreht sich die Normale MN offenbar um diese Axe, indem sie mit derselben einen constanten Winkel bildet, der halb so gross ist, als der Abstand der Sonne von dem Pole, nach welchem man die Strahlen reflectiren will. Man kann den Spiegel daher an der Uhraxe befestigen. (Fahrenheit.)

Will man dagegen, dass die Richtung FM in die Oberfläche des Kegels fällt, und zwar so, dass M auf dem Kreise $NN'..$ liegt, so bleibt die Normale in der Ebene dieses Kreises, und der Spiegel steht folglich darauf senkrecht. Man sieht leicht ein, dass die Drehungsgeschwindigkeit der Normale MN um den Punct M in diesem Falle gerade die Hälfte der täglichen Bewegung ist; sie wird nämlich durch einen Peripheriewinkel NMN' gemessen, der auf dem Bogen NN' steht, welchen der Punct N durchläuft. Man braucht also den Spiegel nur senkrecht auf ein Aequatoreal-Uhrwerk zu setzen, welches eine Umdrehung in 48 Stunden macht (August).

Endlich könnte man auch den Punct M in den Kreis $SS'..$ versetzen, so dass FM mit einer der Richtungen FS, $FS'..$ zusammenfiele und die Sonnenstrahlen nach einem Puncte des Sonnenparallels $SS'..$ reflectirt würden. In diesem Falle dreht sich die Gerade MS in

Digitized by Google

der Ebene dieses Kreises um den Punct M mit der halben Geschwindigkeit der täglichen Bewegung, d. h. so dass sie eine Umdrehung in 48 Stunden vollbringt. Man kann also die Linie MS zur Rotationsaxe der Spiegel nehmen, indem man dieselbe durch ein Uhrwerk in der Aequatorebene mit der angegebenen Geschwindigkeit drehen lässt. Um nun noch die Neigung der Spiegel zu bestimmen, erinnern wir uns, dass die zu MS senkrechte Gerade MR beständig in einer auf FM senkrechten Ebene bleibt. Wenn wir also dem Spiegel eine zweite Rotationsaxe MR geben, die sich um die feste Gerade FM dreht, so ist seine Lage vollständig bestimmt. Die Strahlen werden dann nach einem Punkte des Sonnenparallels reflectirt. Die Stange FM, deren Neigung gegen den Aequator der Declination der Sonne gleich sein muss, kann sich auf einen Declinationskreisbogen stützen (Fig. 10).

Dieser neue Heliostat reflectirt also die Sonnenstrahlen tagüber in einer Richtung, die sie sechs Monate früher oder später selber annehmen können. Er kann dieselben z. B. in die Richtung werfen, welche die Strahlen der auf- oder untergehenden Sonne sechs Monate später haben, oder, was auf dasselbe hinauskommt, er kann sie nach den Puncten des Horizontes dirigiren, wo die Sonne an demselben Tage unter- oder respective aufgeht. Der August'sche Heliostat bringt sie dagegen in eine der Richtungen, welche sie im Laufe desselben Tages annehmen, oder wenigstens annehmen könnten, wenn der ganze Sonnenparallel sichtbar wäre. Wenn man denselben in einem gegebenen Augenblick parallel zu den Sonnenstrahlen aufstellt und das Uhrwerk in Gang setzt, so behalten die reflectirten Strahlen ihre ursprüngliche Richtung, und die Sonne wird gleichsam in ihrem Gange aufgehalten.

Digitized by Google

Ueber Heliostaten.

Von

Professor Dr. **Zech** in Stuttgart.

(Hiezu Tafel II.)

Die gebräuchlichen Heliostaten lassen sich auf drei Hauptarten zurückführen, die gewöhnlich die Namen Fraunhofer, August und Silbermann tragen. Bei der erstern hat der zurückgeworfene Strahl die Richtung der Erdaxe, bei der zweiten jede beliebige Rectascension, aber immer eine der Sonne entgegengesetzte Declination, bei der dritten jede beliebige Richtung; und es ist damit das Wesen der drei verschiedenen Arten charakterisirt. Zugleich ergiebt sich daraus, dass man bei der ersten Art immer noch einen zweiten Spiegel nöthig hat, um den zurückgeworfenen Strahl in bestimmte Richtung zu bringen, bei der zweiten Art wenigstens in manchen Fällen. Diese zweite Zurückwerfung hat den Uebelstand, dass mehr Licht verloren geht; man hilft ihm wenigstens theilweise durch Silberspiegel ab.

Sieht man von diesem Uebelstand ab, so wird derjenige Heliostat den Vorzug verdienen, bei welchem trotz der Fehler in der Construction des Instruments, trotz der Fehler im Gang der Uhr, die nicht nach wahrer und nicht genau nach mittlerer Zeit geht, und endlich trotz der Fehler in der Aufstellung des Instruments, der zurückgeworfene Lichtstrahl seine ursprüngliche Richtung möglichst beibehält. Ich stelle mir hier die Aufgabe, zu untersuchen, in wie weit diese Fehlerquellen auf die Aenderung der Richtung des zurückgeworfenen Lichtstrahls einwirken, und werde zu diesem Zweck der Reihe nach die genannten drei Arten betrachten.

1. Fraunhofer's Heliostat. Ein Uhrwerk dreht eine Axe, welche der Erdaxe parallel gestellt ist, und mit ihr einen Spiegel, dessen Normale den Winkel zwischen der Erdaxe und der Richtung der Sonnenstrahlen halbirt. Dreht sich diese Normale gleichförmig, so dass sie in 24 Stunden wieder die ursprüngliche Lage erreicht, so hat unter der

Digitized by Google

Annahme, dass die Sonne am Himmel einen Parallelkreis mit gleichförmiger Geschwindigkeit in 24 Stunden zurücklegt, der vom Spiegel zurückgeworfene Strahl stets die Richtung der Erdaxe.

Legt man alle vorkommenden Richtungen durch den Mittelpunkt einer Kugel und bestimmt die Richtungen durch ihre Schnittpunkte mit der Kugel, die Erdaxe durch P, die Spiegelnormale durch N, den einfallenden Sonnenstrahl durch S, so beschreiben N und S Parallel-Kreise der Kugel, deren Pol P ist, und liegen immer auf demselben Meridian durch P so, dass der Bogen PN gleich dem Bogen NS ist. Die Lage der einzelnen Punkte werde durch Länge und Breite bestimmt, wie auf der Erdkugel; S habe anfangs die Breite β und die Länge λ zur Zeit, wo der Heliostat aufgestellt und in Gang gesetzt wird; wenn die Zeit t vergangen ist, hat S die Breite β und die Länge $(\lambda + t)$. Die Spiegelnormale hatte Anfangs die Breite $\frac{90+\beta}{2}$, die Länge λ, und hat zur Zeit t die Breite $\frac{90+\beta}{2}$, die Länge $(\lambda + t)$.

Alles dies gilt nur unter der Voraussetzung, dass die Anfangs genannten Bedingungen vollkommen erfüllt sein. Da dies aber nicht der Fall ist, so wird N nicht um P, sondern um einen nahe gelegenen Punkt P_2 als Pol einen kleinen Kugelkreis beschreiben, weil die Drehaxe des Spiegels nicht mit der Richtung der Erdaxe zusammenfällt, sei es in Folge der falschen Aufstellung oder der falschen Construction des Instruments. Eben deswegen und dann noch, weil die Uhr den Spiegel rascher oder langsamer dreht, als die Bewegung der Sonne erfordert, trifft der zurückgeworfene Strahl die Kugel nicht in dem Punkte P, sondern in einem nahe gelegenen P_1.

Ich setze voraus, dass die in Folge dessen entstehenden Abweichungen kleine Grössen seien, deren zweite und höhere Potenzen vernachlässigt werden, kleine Winkel, deren Cosinus der Einheit gleich gesetzt und deren Sinus mit den Winkeln selbst vertauscht werden können.

Als gegeben ist für den Anfang zu betrachten die Breite β und Länge λ des einfallenden Sonnenstrahls S und die Abweichung des Punktes P von P_1 oder des zurückgeworfenen Strahls von der Erdaxe. Aus der Lage beider bestimmt sich die Anfangslage der Spiegelnormale N. Ist diese bestimmt, so kann man ihre Lage zur Zeit t angeben, wenn man die Abweichung des Pols P_2, um den sie sich dreht,

Digitized by Google

von dem richtigen Pol P als bekannt voraussetzt, und da die neue Lage des Sonnenstrahls S bekannt ist, so ergiebt sich aus beiden die neue Lage des zurückgeworfenen Strahls. Dies ist der Gang der folgenden Bestimmungen.

Anfangs liegt N auf dem grössten Kreis durch S und P_1 in der Mitte zwischen beiden; PSP_1 ist also ein sphärisches Dreieck, in welchem PN die Halbirungstransversale der Seite SP_1 ist.

Man hat im Dreieck PNS:

$$\sin SN \sin SNP = \sin SP \sin SPN$$

und im Dreieck PNP_1:

$$\sin P_1N \sin P_1NP = \sin PP_1 \sin NPP_1$$

Die linken Seiten dieser Gleichungen sind gleich, weil $SN = NP_1$ und $< SNP = 180^0 - P_1NP$ ist, also sind auch die rechten Seiten gleich, oder wenn man mit β_1 und λ_1, Breite und Länge von P, und mit l die Länge von N bezeichnet, so ist:

$$1) \quad \cos\beta \sin(l-\lambda) = \cos\beta_1 \sin(\lambda_1-l).$$

Bezeichnet man ferner mit b die Breite von N, so ist:

$$\cos SN = \sin\beta \sin b + \cos\beta \cos b \cos(l-\lambda)$$

und

$$\cos NP_1 = \sin\beta_1 \sin b + \cos\beta_1 \cos b \cos(l-\lambda_1),$$

da aber $SN = NP_1$ ist, so hat man:

$$2) \quad \sin\beta \sin b + \cos\beta \cos b \cos(l-\lambda) = \sin\beta_1 \sin b + \cos\beta_1 \cos b \cos(l-\lambda_1).$$

Aus den Gleichungen 1) und 2) ergiebt sich b und l; die Beziehungen werden aber bedeutend einfacher, wenn man berücksichtigt, dass

$$\beta_1 = 90 - \triangle\beta_1, \qquad l = \lambda + \triangle l, \qquad b = \frac{90+\beta}{2} + \triangle b$$

gesetzt werden können, wo $\triangle\beta_1$, $\triangle l$, $\triangle b$ kleine Winkel sind. Setzt man diese Werthe ein, so ergiebt sich nach einigen Reductionen:

$$3) \quad b = \frac{90+\beta}{2} + \triangle b = \frac{90+\beta}{2} + \frac{1}{2}\triangle\beta_1 \cos(\lambda-\lambda_1) \text{ und}$$

$$4) \quad l = \lambda + \triangle l = \lambda + \triangle\beta_1 \frac{\sin(\lambda_1-\lambda)}{\cos\beta},$$

womit die Anfangslage der Spiegelnormale bestimmt ist.

Wenn nun S auf einem Parallelkreis sich bewegt, so kommt es nach einem Punkte S', dessen Breite wieder β ist, wenn man die Declinationsänderung der Sonne nicht berücksichtigt, und dessen Länge $(\lambda + t)$ ist, wo t der von der Sonne zurückgelegte Stundenwinkel ist. N bewegt sich auf einem Kugelkreise, dessen Pol P_2 die Breite β_2

Digitized by Google

und die Länge λ_2 habe, beschreibt aber statt des Stundenwinkels t einen anderen $(t + \triangle)$, weil die Uhr nicht nach der Sonne geht. (Dieses $\triangle$ wird ungefähr dem Stundenwinkel proportional gesetzt werden können.) Kommt N nach N' mit der Breite b' und Länge l', so hat man aus dem Dreieck NPP_2:

$$\cos P_2N = \sin b \sin \beta_2 + \cos b \cos \beta_2 \cos (\lambda_2 - l)$$

aus dem Dreiecke $N'PP_2$:

$$\cos P_2N' = \sin b' \sin \beta_2 + \cos b' \cos \beta_2 \cos (\lambda_2 - l')$$

und da $P_2N = P_2N'$ ist, so folgt:

$$5) \quad \sin b \sin \beta_2 + \cos b \cos \beta_2 \cos (\lambda_2 - l) = \sin b' \sin \beta_2 + \cos b' \cos \beta_2 \cos (\lambda_2 - l).$$

Ferner giebt das Dreieck NPN':

$$\cos NN' = \sin b \sin b' + \cos b \cos b' \cos (l' - l)$$

und das Dreieck NP_2N':

$$\cos NN' = \cos NP_2 + \sin NP_2 \cos (t + \triangle).$$

Also durch Gleichsetzung der rechten Seiten:

$$6) \quad \sin b \sin b' + \cos b \cos b' \cos (l' - l) = \cos NP_2 + \sin NP_2 \cos (t + \triangle).$$

Berücksichtigt man nun, dass $b' = b + \triangle b'$ und $l' = l + t + \triangle l'$, ferner $\beta_2 = 90 - \triangle \beta_2$ gesetzt werden kann, so ergiebt sich aus 5):

$$\triangle \beta_2 \cos b \cos (\lambda_2 - l) = \cos b \triangle b' + \triangle \beta_2 \cos b \cos (\lambda_2 - l - t)$$

und weil in allen Faktoren der kleinen Grössen b durch $\frac{90 + \beta}{2}$ und l durch λ ersetzt werden kann:

$$7) \quad \triangle b' = -2 \triangle \beta_2 \sin (\lambda_2 - \lambda - \frac{t}{2}) \sin \frac{t}{2}$$

Ferner folgt dann durch Einsetzung der Werthe von β_2 und l in den obigen Werth von $\cos P_2N$:

$$\cos P_2N = \sin b + \triangle \beta_2 \cos b \cos (\lambda_2 - \lambda)$$

und mit Hülfe dieses Werthes folgt aus (6) nach einigen Umformungen:

$$8) \quad \triangle l' = \triangle b' \, tg \, b \, tg \, \tfrac{1}{2} t - 2 \triangle \beta_2 \cos (\lambda_2 - \lambda) \, tg \, b \, tg \, \tfrac{1}{2} t + \triangle.$$

Also wenn man noch in den Faktoren der kleinen Grössen $\frac{90 + \beta}{2}$ statt b, und in 8) den Werth von $\triangle b'$ aus 7 einsetzt:

$$b' = \frac{90 + \beta}{2} + \frac{1}{2} \triangle \beta_1 \cos (\lambda_1 - \lambda) - 2 \triangle \beta_2 \sin \frac{t}{2} \sin (\lambda_2 - \lambda - \frac{t}{2})$$

$$l' = \lambda + t + \triangle + \triangle \beta_1 \frac{\sin (\lambda_1 - \lambda)}{\cos \beta} - 2 \triangle \beta_2 \, tg \, (45 + \frac{\beta}{2}) \sin \frac{t}{2} \cos (\lambda_2 - \lambda - \frac{t}{2})$$

Digitized by Google

Damit ist die neue Lage der Spiegelnormale bestimmt und es bleibt nur noch übrig, den Punct P_2 mit der Breite $90 - \triangle\beta_2$ und der Länge λ_2 zu finden, in welchem der jetzt zurückgeworfene Strahl die Kugel trifft. Die Bestimmung von P_2 aus S' und N' ist aber dieselbe wie die von P_1 aus S und N, man hat nur $\lambda + t$ statt λ, ferner b' und l' statt b und l und endlich $\triangle\beta_2$ und λ_2 statt $\triangle\beta_1$ und λ_1 zu setzen; und erhält aus 3) und 4):

$$l' = \lambda + t + \triangle\beta_2 \frac{\sin(\lambda_2 - \lambda - t)}{\cos\beta},$$

$$b' = 45 + \frac{\beta}{2} + \frac{1}{2}\triangle\beta_2 \cos(\lambda_2 - \lambda - t)$$

woraus nach Einsetzung der Werthe von l' und b' sich ergibt:

9) $$\triangle\beta_2 \sin(\lambda_2 - \lambda - t) = \triangle\beta_1 \sin(\lambda_1 - \lambda) - 2\triangle\beta_2 \, tg\,(45 + \frac{\beta}{2}) \cos\beta \sin\frac{t}{2} \cos(\lambda_2 - \lambda - \frac{t}{2}) + \triangle \cos\beta$$

10) $$\triangle\beta_2 \cos(\lambda_2 - \lambda - t) = \triangle\beta_1 \cos(\lambda' - \lambda) - 4\triangle\beta_2 \sin\frac{t}{2} \sin(\lambda_2 - \lambda - \frac{t}{2})$$

Diese zwei Gleichungen bestimmen die Lage des Punctes P_2 oder des zurückgeworfenen Strahls zu beliebiger Zeit. Eigentlich bliebe noch übrig, das Spiegelbild von P_2 für den zweiten Spiegel zu bestimmen, da dieser aber fest ist, so kommen dabei dieselben Richtungsänderungen in Beziehung auf Grösse vor.

$\triangle\beta_1$ ist Fehler der Einstellung des Spiegels, der Aufstellung des Instruments und der Construction desselben, $\triangle\beta_2$ Fehler der Aufstellung und Construction, $\triangle$ Fehler der Uhr.

Fände nur der erste Fehler — nicht mit der Richtung der Erdaxe zusammenfallende Anfangsstellung des zurückgeworfenen Strahls — statt, wäre also $\triangle\beta_2 = 0$ und $\triangle = 0$, so hätte man:

$$\triangle\beta_2 = \triangle\beta_1 \text{ und } \lambda_2 = \lambda_1 + t$$

d. h. der zurückgeworfene Strahl beschriebe einen geraden Kegel mit sehr kleiner Oeffnung um die Erdaxe mit gleichförmiger Geschwindigkeit innerhalb 24 Stunden.

Fände nur der zweite Fehler — Abweichung der Spiegeldrehaxe von der Richtung der Erdaxe — statt, so hätte man $\triangle\beta_1 = 0$ und $\triangle = 0$, und daher:

Digitized by Google

$$\triangle \beta_3 = -4 \triangle \beta_2 \sin \frac{1}{2} t \sqrt{1 + \left(\frac{1+\sin\beta}{2}\right)^2},$$

$$\lambda_3 = 90 + 2\lambda - \lambda_2 + \frac{3}{2} t$$

Der zurückgeworfene Strahl beschreibt auf der Kugel vom Pol P ausgehend eine kleine Spirale, hat sich nach 12 Stunden am weitesten von der Richtung der Erdaxe entfernt, nähert sich jetzt wieder dem Pol und erreicht ihn nach weiteren 12 Stunden, worauf die anfängliche Bewegung wieder beginnt. Die grösstmögliche Abweichung (für $\beta = 23°$, $\sin\beta = 0{,}4$, $t = 180°$) beträgt nicht ganz $5 \triangle \beta_2$.

Fände nur der dritte, der Uhrfehler, statt, so wäre $\triangle \beta_1 = 0$ und $\triangle \beta_2 = 0$, und daher:

$$\triangle \beta_3 = \triangle \cos\beta \; ; \; \lambda_3 = 90 + \lambda + t$$

Der zurückgeworfene Strahl beschreibt auf der Kugel, wenn man $\triangle$ der Zeit proportional nimmt, eine archimedische Spirale, entfernt sich also mit der Zeit immer mehr von der ursprünglichen Richtung. Man sieht, dass dieser letzte Fehler der gefährlichste ist, weil er der Zeit proportional wächst. Nimmt man an, die Uhr gehe täglich um 30 Minuten falsch gegen die Sonne, so wäre $\triangle = 7{,}5$ Grad für 24 Stunden, und gleich einem halben Grad für $1^h\ 36^m$. In dieser Zeit würde also das Sonnenbild sich um seine eigene Breite verschieben. Es ist aber gewiss leicht, durch Anwendung eines auch nur mässig guten Uhrwerks diesen Fehler viel weiter herabzubringen.

2. August's Heliostat. Ein Uhrwerk dreht eine Axe, welche der Erdaxe parallel zu stellen ist, und mit ihr einen Spiegel, dessen Normale senkrecht zur Axe ist. Dreht sich diese Normale gleichförmig so, dass sie nach 48 Stunden wieder die ursprüngliche Lage erreicht, so wird unter der Annahme, dass die Sonne am Himmel einen Parallelkreis mit gleichförmiger Geschwindigkeit in 24 Stunden zurücklegt, der vom Spiegel zurückgeworfene Strahl eine constante Richtung haben.

Führt man dieselben Bezeichnungen ein wie in Nr. 1, so beschreibt S einen Parallelkreis, N den Aequator und der zurückgeworfene Strahl hat die entgegengesetzte Breite von der von S. Sind β und λ Breite und Länge von S, o und l die der Spiegelnormale N, so sind $(-\beta)$ und $(2l - \lambda)$ Breite und Länge des zurückgeworfenen Strahls, der die Kugel in Z schneide. Ist die Zeit t verflossen, so ist $(\lambda + t)$ Länge

Digitized by Google

von S und $(l + \frac{1}{2}t)$ Länge von N geworden, das Uebrige ist geblieben. In der That aber hat N die kleine Breite $\triangle b$, und dreht sich nicht um den Pol P, sondern um einen benachbarten Punct P_2 (mit der Breite $90 - \triangle\beta_2$ und der Länge λ_2), und legt in der Zeit t nicht den Stundenwinkel $\frac{1}{2}t$, sondern $(\frac{1}{2}t + \triangle)$ zurück. Zu bestimmen ist die daraus sich ergebende Lage von Z.

Die Anfangslage von Z sei bestimmt durch:

$$1)\ \beta_1 = -\beta + \triangle\beta_1\ ,\quad 2)\ \lambda_1 = 2l - \lambda + \triangle\lambda_1$$

Drückt man aus, dass Bogen $ZN = NS$ ist, so ergiebt sich leicht:

$$2\ \triangle b \sin\beta = \triangle\beta_1 \sin\beta \cos(l - \lambda) - \triangle\lambda_1 \cos\beta \sin(l - \lambda)$$

und da Z, N, S auf einem grössten Kreis liegen, so ergiebt sich:

$$\triangle\beta_1 \sin\beta \sin(l - \lambda) = -\triangle\lambda_1 \cos\beta \cos(l - \lambda)$$

so dass durch Combination dieser zwei Gleichungen folgt:

$$3)\ \triangle\beta_1 = 2\triangle b \cos(l - \lambda),\quad 4)\ \triangle\lambda_1 \cos\beta = -2\triangle b \sin\beta \sin(l - \lambda)$$

womit die Anfangslage von Z bestimmt ist.

Jetzt rückt S nach S' vor mit der Breite β und der Länge $(\lambda + t)$, und N kommt nach N' mit der Breite $\triangle b'$ und der Länge l'. In Folge dessen kommt Z nach Z' mit der Breite β_1' und der Länge λ_1'.

Die Gleichung $P_2N = P_2N'$ giebt nun:

$$5)\ \triangle b + \triangle\beta_2 \cos(l - \lambda_2) = \triangle b' + \triangle\beta_2 \cos(l' - \lambda_2)$$

Drückt man ferner aus, dass $NP_2N' = \frac{1}{2}t + \triangle$ ist, so ergibt sich mit Berücksichtigung, dass P_2N nahezu ein Rechter ist:

$$\cos(l' - l) = \cos(\frac{t}{2} + \triangle)$$

oder also, da hier keine Zweideutigkeit möglich ist:

$$6)\ l' = l + \frac{t}{2} + \triangle$$

Verbindet man hiemit die Gleichung (5), so ergibt sich:

$$7)\ \triangle b' = \triangle b + 2\triangle\beta_2 \sin(l - \lambda_2 + \frac{t}{4}) \sin\frac{t}{4}$$

und jetzt ergiebt sich Z' aus S' und N', wie sich oben Z aus S und N ergeben hat (1, 2, 3 und 4), nämlich:

$$\beta_1' = -\beta + 2\triangle b' \cos(l' - \lambda - t),$$
$$\lambda_1' = 2l' - \lambda - t - 2\triangle b' \operatorname{tg}\beta \sin(l' - \lambda - t)$$

und da es sich nicht um Z' selbst handelt, sondern um die Abweichung des Z' von Z, so kann man schliesslich die Breiten- und Längenabweichungen anschreiben:

Digitized by Google

$$\beta_1' - \beta_1 = 4\,\triangle b \sin(l - \lambda - \frac{t}{4}) \sin\frac{t}{4}$$
$$+ 4\,\triangle\beta_2 \sin(l - \lambda_2 + \frac{t}{4}) \sin\frac{t}{4} \cos(l - \lambda - \frac{t}{2})$$
$$\lambda' - \lambda_1 = 2\triangle + 4\,\triangle b\ tg\beta \cos(l - \lambda - \frac{t}{4}) \sin\frac{t}{4}$$
$$- 4\,\triangle\beta_2\ tg\beta \sin(l - \lambda_2 + \frac{t}{4}) \sin\frac{t}{4} \sin(l - \lambda - \frac{t}{2})$$

Berücksichtigt man nur den Fehler $\triangle b$, — falsche Lage des Spiegels wegen falscher Aufstellung und falscher Construction des Instruments —, so hat man für die Abweichungen nach kleiner Umformung:

$$2\,\triangle b \left\{ \cos(l - \lambda - \tfrac{1}{2}t) - \cos(l - \lambda) \right\} \text{ und}$$
$$2\,\triangle b\ tg\beta \left\{ \sin(l - \lambda) - \sin(l - \lambda - \tfrac{1}{2}t) \right\}$$

woraus sich ergiebt, dass der Punct Z', welcher den zurückgeworfenen Strahl bestimmt, eine kleine Ellipse auf der Kugeloberfläche beschreibt, deren Halbaxen $2\,\triangle b$ und $2\,\triangle tg\,\beta$ sind.

Berücksichtigt man nur den Fehler $\triangle\beta_2$ — falsche Stellung der Drehaxe wegen falscher Aufstellung und falscher Construction — so beschreibt der Punct Z' wieder eine geschlossene Curve, die innerhalb bestimmter Grenzen bleibt, so dass die grösste Abweichung $4\,\triangle\beta_2\,tg\,\beta$ beträgt.

Berücksichtigt man nur den Fehler $\triangle$, den Uhrfehler, so ist die Abweichung in Breite Null, die Abweichung in Länge $2\triangle$, also etwa doppelt so gross, als beim Fraunhofer'schen Heliostaten. Es ist dabei vorausgesetzt, dass der absolute Fehler der zwei verschieden construirten Uhren (die eine dreht die Spiegelaxe um 360° in einem, die andere in zwei Tagen) der gleiche sei, was bei gleich guter Construction wohl der Fall sein wird. Wenn also beim Fraunhofer'schen Heliostaten die Uhr um 30 Minuten täglich falsch geht, so dreht sie den Spiegel um $7\frac{1}{2}$ Grade zu viel oder zu wenig im Tag. Hat der August'sche eine gleich gute Uhr, so wird der Fehler in der Drehung derselben sein, der Fehler in der Abweichung doppelt so gross, nemlich 15 Grad für 24 Stunden.

3. Silbermanns Heliostat. Zwei nach jeder beliebigen Richtung bewegliche Stäbe sind mit einem dritten so verbunden, dass dieser stets ihren Winkel halbirt. Die Spiegelnormale fällt mit diesem dritten Stab zusammen, der erste wird in der Richtung festgestellt, in welcher der Strahl zurückgeworfen werden soll, der zweite wird durch

Digitized by Google

ein Uhrwerk um eine zur Erdaxe parallele Axe gedreht, so dass er stets der Richtung der Sonnenstrahlen parallel ist.

Die Construction dieses Heliostaten ist jedenfalls die complicirteste, sie wird also auch mehr Fehler mit sich führen; insbesondere wird der einfallende Strahl nicht parallel sein mit dem durch das Uhrwerk gedrehten Stab, der Spiegel wird nicht genau senkrecht auf dem mittlern Stab sein und dieser wird den Winkel der andern Stäbe nicht genau halbiren. Bei sorgfältiger Arbeit werden die durch die Construction bedingten Fehler immer viel kleiner sein, als die der Aufstellung und der Uhr. Um die Untersuchung nicht zu sehr zu compliciren, nehme ich an, die Spiegelnormale halbire genau den Winkel zwischen den Axen der zwei Stäbe, des festgestellten und des sich drehenden; alle übrigen Fehler werden berücksichtigt.

Man nehme zunächst ein rechtwinkliges Coordinatensystem, dessen Axe der z in die geometrische Axe des festgestellten Stabs falle. Die Axenrichtung des mit der Sonne sich drehenden Stabs bilde die Winkel (a, b, c) mit den Coordinatenaxen, die Spiegelnormale die Winkel (l, m, n). Man findet zunächst, weil die Spiegelnormale den Winkel der Richtungen des sich drehenden Stabs und der Axe der z halbirt:

$$1)\quad \cos l = \frac{\cos a}{2\cos \frac{1}{2}c} \qquad \cos m = \frac{\cos b}{2\cos \frac{1}{2}c} \qquad \cos n = \cos \tfrac{1}{2}c.$$

Der sich drehende Stab wird nicht genau parallel mit den einfallenden Sonnenstrahlen sein wegen anfänglicher falscher Einstellung: die Richtung der Sonnenstrahlen sei durch die Winkel $a + \triangle a$, $b + \triangle b$, $c + \triangle c$ bestimmt. Dann wird der vom Spiegel zurückgeworfene Strahl nicht mit der Axe der z zusammenfallen; die kleine Abweichung von dieser Axe sei bestimmt durch die Coordinaten x, y desjenigen Puncts des Strahls, welcher den Abstand Eins vom Ursprung hat.

Weil der einfallende und zurückgeworfene Strahl gleiche Winkel mit der Spiegelnormale bilden, so ist:

$$x \cos a + y \cos b = -\sin c \triangle c$$

und weil beide Strahlen mit der Spiegelnormale in derselben Ebene liegen, so ist:

$$-x \cos b + y \cos a = \cos a \sin b \triangle b - \cos b \sin a \triangle a$$

und aus diesen zwei Gleichungen ergibt sich:

$$2)\quad x = \sin a \triangle a - \cos a \, tg \tfrac{1}{2}c \triangle c,$$

$$3)\quad y = \sin b \triangle b - \cos b \, tg \tfrac{1}{2}c \triangle c.$$

Digitized by Google

Nun dreht sich der Stab (a, b, c) um eine zur Erdaxe nahe parallele Axe und legt in der Zeit t den Winkel $(t + \triangle)$ zurück, weil die Uhr nicht richtig geht. Die neue Lage des Stabs sei $(a'\ b'\ c')$, die neue Lage des Spiegels ergibt sich wie oben (1), wenn man a durch a', b durch b', c durch c' ersetzt. Die neue Lage des einfallenden Strahls sei $(a' + \triangle a',\ b + \triangle b',\ c' + \triangle c')$. Ist $\triangle a'$, $\triangle b'$, $\triangle c'$ bestimmt und setzt man diese Werthe statt $\triangle a$, $\triangle b$, $\triangle c$ in die Ausdrücke für x und y (2 u. 3), ferner a', b', c' statt a, b, c, so erhält man die Abweichung des zurückgeworfenen Strahls.

Die Werthe $\triangle a'$, $\triangle b'$, $\triangle c'$, die Abweichungen des einfallenden Strahls in der neuen Lage von dem sich drehenden Stab bestimmen sich am besten wieder durch Polarcoordinaten. Anfangs seien β und λ Breite und Länge des sich drehenden Stabs, er drehe sich um einen Pol $(90 - \triangle\beta_2$ und $\lambda_2)$ im Betrag von $(t + \triangle)$ und komme nach $(\beta + \triangle\beta')$, $(\lambda + t + \triangle\lambda')$. Man hat dann wie früher: (7 u. 8 in Nr. 1.)

$$\triangle\beta' = -2\triangle\beta_2 \sin(\lambda_2 - \lambda - \frac{t}{2}) \sin\frac{t}{2},$$

$$\triangle\lambda' = -2\triangle\beta_2\, tg\beta \cos(\lambda_2 - \lambda - \frac{t}{2}) \sin\frac{t}{2} + \triangle.$$

Hatte ferner der einfallende Strahl Anfangs $(\beta + \triangle\beta)$ und $(\lambda + \triangle\lambda)$ zu Breite und Länge und nach der Drehung $(\beta + \triangle\beta)$, $(\lambda + t + \triangle\lambda)$, so ist die Abweichung beider:

$$4)\ \triangle\psi = \triangle\beta + 2\triangle\beta_2 \sin(\lambda_2 - \lambda - \frac{t}{2}) \sin\frac{t}{2},$$

$$5)\ \triangle\chi = \triangle\lambda + 2\triangle\beta_2\, tg\beta \cos(\lambda_2 - \lambda - \frac{t}{2}) \sin\frac{t}{2} + \triangle$$

und die Aufgabe reducirt sich darauf, diese Abweichungen in $\triangle a'$, $\triangle b'$, $\triangle c'$ oder umgekehrt auszudrücken. Von dem rechtwinkligen Coordinatensystem wurde bis jetzt nur die Axe der z bestimmt; die Ebene der xz lege man durch die Erdaxe, so dass diese mit der Axe der z den Winkel φ bilde. Jetzt lassen sich die Winkel von $\triangle\psi$ und $\triangle\chi$ mit den Axen bestimmen, und daraus $\triangle a'$, $\triangle b'$, $\triangle c'$ als Summen der Projectionen von beiden auf die drei Axen. Sieht man von den kleinen Abweichungen ab, die bei der Bestimmung der Winkel von $\triangle\psi$ und $\triangle\chi$ mit den Axen nicht in Betracht kommen, so stehen beide $\triangle\psi$ und $\triangle\chi$ senkrecht auf der Richtung (a', b', c'), der zweiten Lage des einfallenden Strahls. $\triangle\psi$ fällt in die Ebene durch diese Richtung und die der Erdaxe, deren Winkel mit den Axen $(90 - \varphi,\ 90,\ \varphi)$ sind.

Digitized by Google

$\triangle\chi$ steht senkrecht auf dieser Ebene. Da diese Ebene mit der Ebene der xz den Winkel $(\lambda+t)$ bildet, so erhält man auf bekanntem Wege die Relationen:

$$6)\quad \begin{cases} \cos a' = \sin\beta \sin\varphi + \cos\beta \cos\varphi \cos(\lambda + t) \\ \cos b' = \cos\beta \sin(\lambda + t) \\ \cos c' = \sin\beta \cos\varphi - \cos\beta \sin\varphi \cos(\lambda + t) \end{cases}$$

und dann für die Cosinus von $\triangle\chi$ mit den Axen:

$$7)\quad \cos\varphi \sin(\lambda + t)\ ,\ -\cos(\lambda + t)\ ,\ -\sin\varphi \sin(\lambda + t)$$

und für die Cosinus von $\triangle\psi$:

$$8)\quad \begin{cases} \cos A = -\cos\beta \sin\varphi + \sin\beta \cos\varphi \cos(\lambda + t) \\ \cos B = \sin\beta \sin(\lambda + t) \\ \cos C = -\cos\beta \cos\varphi - \sin\beta \sin\varphi \cos(\lambda + t) \end{cases}$$

Somit hat man:

$$9)\quad \begin{cases} \triangle a' = \cos A\ \triangle\psi + \cos\varphi \sin(\lambda + t)\ \triangle\chi \\ \triangle b' = \cos B\ \triangle\psi - \cos(\lambda + t)\ \triangle\chi \\ \triangle c' = \cos C\ \triangle\psi - \sin\varphi \sin(\lambda + t)\ \triangle\chi \end{cases}$$

und daher schliesslich aus 2 und 3, wenn man überall den Index zusetzt; um den Werth von x und y für die Stellung nach der Zeit t zu haben:

$$x' = \{\sin a' \cos A - \cos a' \, tg\tfrac{1}{2}c' \cos C\}\ \triangle\psi + \{\sin a' \cos\varphi \sin(\lambda + t) + \cos a' \, tg\tfrac{1}{2}c' \sin\varphi \sin(\lambda + t)\}\triangle\chi$$

$$y' = \{\sin b' \cos B - \cos b' \, tg\tfrac{1}{2}c' \cos C\}\ \triangle\psi - \{\sin b' \cos(\lambda + t) - \cos b' \, tg\tfrac{1}{2}c' \sin\varphi \sin(\lambda + t)\}\ \triangle\chi,$$

worin noch die Werthe von $\triangle\chi$ und $\triangle\psi$ zu substituiren sind.

Man sieht, dass der complicirte Mechanismus schon sehr complicirte Formeln gibt, über die im Allgemeinen nicht viel zu sagen ist, die aber in besonderen Fällen ganz gute Dienste leisten.

$\triangle\psi$ enthält nur periodische Glieder, $\triangle\chi$ auch ein mit der Zeit sets wachsendes, vom Uhrfehler herrührendes. Es scheint nun zunächst, dass auch die periodischen Glieder hier sehr gross werden können, weil eine Tangente vorkommt: dem ist aber nicht so, denn würde die Tangente unendlich gross, also c' gleich zwei Rechten, so ist $a' = b' = 90^0$, also beide Cosinus Null. Statt $\cos a' \, tg\frac{1}{2}c'$ und $\cos b' \, tg\frac{1}{2}c'$ kann man nach (1) auch $2\cos l' \sin\frac{1}{2}c'$ und $2\cos m' \sin\frac{1}{2}c'$ setzen, und man sieht daraus, dass der grösste mögliche Werth der zwei Ausdrücke nicht über zwei gehen kann. Die grösste Abweichung wird also auch hier durch den Uhrfehler hervorgebracht. Diese Abweichung ist:

Digitized by Google

$$x = \{\sin a' \cos\varphi \sin(\lambda + t) + \cos a' \, tg \tfrac{1}{2} c' \sin\varphi \sin(\lambda + t)\} . \triangle$$
$$y = \{ - \sin b' \cos(\lambda + t) + \cos b' \, tg \tfrac{1}{2} c' \sin\varphi \sin(\lambda + t)\} . \triangle$$

Zur Veranschaulichung der Bedeutung dieser Formeln wähle ich zwei Beispiele:

Der zurückgeworfene Strahl trete horizontal in das Beobachtungszimmer, in der Richtung von Ost nach West. Diese Richtung ist nach dem Obigen Axe der z; die Axe der x fällt mit der Erdaxe zusammen, da diese in der Ebene xz angenommen wurde, und bildet mit der Axe der z einen rechten Winkel, also $\varphi = 90^0$. Die Declination der Sonne werde zu Null angenommen. Man findet dann:

$$a' = 90^0 \; , \; b' = 90^0 - (\lambda + t) \; , \; c' = 180^0 - (\lambda + t)$$

und

$$x = 0 \; , \; y = \left\{\cos(\lambda + t) - \sin(\lambda + t) \cos\frac{\lambda + t}{2}\right\} \triangle .$$

Nur solange $(\lambda + t)$ zwischen Null und 180^0 liegt, ist die Sonne über dem Horizont. Von zwanzig zu zwanzig Grad findet man folgende Werthe des Coëfficienten von $\triangle$:

$\lambda + t =$	0^0	20^0	40^0	60^0	80^0	100^0
	+ 1,00	+ 0,22	− 0,55	− 1,05	− 1,13	− 0,78
$\lambda + t =$	120^0	140^0	160^0	180^0		
	− 0,18	+ 0,44	+ 0,86	+ 1,00.		

Der Coëfficient wird Null bei etwa 26^0 und 127^0, also Morgens $7\frac{1}{2}$, Mittags $2\frac{1}{2}$. Dies werden also die besten Beobachtungszeiten sein.

Tritt dagegen der zurückgeworfene Strahl horizontal in der Richtung von Süd nach Nord ein, so sind blos Werthe von $(\lambda + t)$ zwischen -90^0 und $+90^0$ möglich, und man findet unter der Voraussetzung, dass $\beta = 0$ und $\varphi = 45^0$ ist.

$\lambda + t$ =	− 90	− 45	0	+ 45	+ 90
$\frac{x}{\triangle}$ =	− 0,707	− 0,865	0	+ 0,865	+ 0,707
$\frac{y}{\triangle}$ =	− 0,707	− 0,112	1	− 0,112	− 0,707

Die absolute Abweichung $\sqrt{x^2 + y^2}$ ist also immer nahezu der Einheit gleich, oder es verhält sich in diesem Fall dieser Heliostat wie der von Fraunhofer.

Unser Resultat ist demnach:

Wenn man die periodischen Abweichungen nicht berücksichtigt, sondern blos die durch den Uhrfehler be-

Digitized by Google

stimmten, so ergiebt sich, dass dieselben beim August'schen Heliostaten unter allen Umständen gleich dem doppelten Uhrfehler, beim Fraunhofer'schen gleich dem einfachen Uhrfehler multiplicirt mit dem Cosinus der Declination der Sonne, also stets nahe gleich dem einfachen Uhrfehler, beim Silbermann'schen dagegen von der jeweiligen Aufstellung abhängig ist und zwischen Null und 2△ schwankt.

Es mag mir gestattet sein, zum Schluss noch kurz die Einrichtung zu beschreiben, die Professor Reusch in Tübingen dem Fraunhofer'schen Heliostaten gegeben hat und die seine Aufstellung ungemein erleichtert (siehe die Skizze Tafel II).

Auf einem durch eine Wasserwage vertical zu stellenden Fusse ruht ein theilweise durchbrochener Hohlcylinder, dessen Axe mit der Axe des Fusses einen Winkel gleich der geographischen Breite macht. Unten an diesem Hohlcylinder sitzt ein abnehmbarer geschlossener Cylinder mit einem Uhrwerk, welches das in der Figur sichtbare gezahnte Rad einmal in 24 Stunden umdreht. Auf der Axe dieses Rades sitzt lose ein Gestell mit einem Spiegel, der noch um eine zur Axe des Hohlcylinders senkrechte Axe drehbar ist. (Man kann ihn also in jede beliebige Lage bringen; das Gestell ist auf der Axe des gezahnten Rades drehbar, wie der Minutenzeiger einer Uhr auf der Axe seines Rades.) Oben sitzt auf dem Hohlcylinder eine in der Mitte durchbohrte Scheibe, drehbar um die Axe des Hohlcylinders; sie trägt einen zweiten Spiegel, der noch um eine zweite zur Axe des Hohlcylinders senkrechte Axe drehbar ist. Die Scheibe ist getheilt wie eine Sonnenuhr, die dem Aequator parallel steht, aber mit entgegengesetzter Ordnung der Zahlen und ein am Hohlcylinder fester Index bezeichnet ihre Lage. Der Index ist so angebracht, dass er in den Meridian fällt, wenn die Axe des Instruments der Erdaxe parallel ist.

Die Einstellung geschieht folgendermassen: 1) Nachdem die Schraube unter der Wasserwage gelöst ist, lässt sich der ganze obere Theil auf dem Fusse drehen und damit die Wasserwage. Man stellt die Axe des Fusses vertikal. 2) Der Index wird auf die wahre Zeit eingestellt (nachdem das Uhrwerk aufgezogen ist). Nun bildet die Nulllinie der obern Scheibe mit der Ebene durch Index und Axe des Instruments einen Winkel gleich dem Stundenwinkel der Sonne. Bringt man also die Nulllinie in den Meridian, in dem die Sonne steht, so fällt die Ebene durch Index und Axe des Instruments in den Haupt-

Digitized by Google

meridian, und die Axe des Instruments ist parallel der Erdaxe, also die Aufstellung fertig, worauf die Schraube unter der Wasserwage angezogen wird.

3) Um die Nulllinie in den Meridian der Sonne zu bringen, dient ein kleiner Aufsatz auf die obere Scheibe, welcher in Tafel II neben den Apparat gezeichnet ist. Auf einer achteckigen Messingplatte mit einem Rand unterhalb, der genau in die Oeffnung der getheilten Scheibe passt, sitzen symmetrisch zur Mitte und senkrecht zur Platte zwei Messingstücke, das eine mit einer länglichen Durchbohrung, die zur Ausspannung eines Pferdehaars Raum giebt, das andere mit einer dunkeln Linie auf hellem Grund parallel zum ausgespannten Haar und so gezogen, dass die Ebene durch Linie und Haar durch die Axe des Instruments geht und parallel der Nulllinie ist, wenn die achteckige Platte ihre durch einen Stift beim Aufsetzen vorgeschriebene Lage eingenommen hat. Fällt der Schatten des Haars auf die Linie, so ist die Nulllinie in der richtigen Lage.

4) Nun bleibt noch übrig, den untern Spiegel richtig zu stellen. Zu diesem Zweck trägt die achteckige Platte des Aufsatzes centrirt eine Linse von kleiner Brennweite und die zwei zur Platte senkrechten Messingstücke sind oben durch ein weiteres verbunden, das in seiner Mitte einen kleinen Kreis auf einer matten Glasscheibe trägt. Die Axe der Linse fällt mit der Axe des Instruments zusammen, der kleine Kreis hat seinen Mittelpunct auf derselben Axe und ist im Brennpunct der Linse. Man hat also den untern Spiegel nur so lang zu drehen, bis in der Mitte des kleinen Kreises ein kleines Sonnenbild sich zeigt.

Nimmt man jetzt den Aufsatz weg, so kann man durch Drehung der getheilten Scheibe und des obern Spiegels den zurückgeworfenen Strahl nach jeder Richtung bringen.

Digitized by Google

Apparat zu Vorlesungsversuchen über die Gas- und Dampfspannungen.

Von

Dr. Frhr. v. Feilitzsch, Professor in Greifswald.

(Hiezu Tafel IV Figur 1.)

Vielleicht haben mehre meiner Berufsgenossen gleich mir die Mängel der bisher üblichen Vorrichtungen zur Demonstration der Gesetze über die Gas- und Dampfspannungen empfunden, so dass ich nichts Ueberflüssiges zu thun glaube, wenn ich im Folgenden einen von mir construirten Apparat beschreibe, der mit grösserer Bequemlichkeit für den Experimentirenden eine leichtere Uebersichtlichkeit für die Zuhörer verbindet, als die bekannten älteren Instrumente.

Der Apparat ist in Figur 1 (abgesehen von einer Verkürzung bei *z*) in $^1/_{20}$ der gewählten Abmessungen dargestellt. Die nächste Veranlassung zu deren Ausführung gab mir die nützliche Verwendung von Kautschukschläuchen zu analogen Zwecken, wie ich sie namentlich im vorigen Herbst im physikalischen Institut des Herrn Professor Dr. Jolly in München kennen lernte. Anstatt also wie bisher, eine Barometerröhre in ein tiefes Quecksilbergefäss mehr oder weniger einzutauchen, oder ein abgeschlossenes Luftvolumen dem Druck von einer aufgegossenen Quecksilbersäule auszusetzen, bedarf es nur einer oben verschliessbaren und einer oben offen bleibenden Glasröhre, deren untere Ende durch einen Gummischlauch communiciren, und in welchen sich Quecksilber befindet. Ist die verschlossene Röhre vollkommen mit Quecksilber angefüllt, so braucht man sie nur über die offene Röhre genügend zu erheben, um den Barometerstand zu ermitteln. Ist in der ersteren ein bestimmtes Luftvolumen enthalten, so vergrössert sich dasselbe bei Erhebung über die offene, und verkleinert sich bei Erhebung der letzteren über die erstere. Durch Beobachtung dieser Volumänderungen und der gleichzeitigen Veränderungen der Niveaudifferenzen des Quecksilbers in beiden Röhren ist das Mariotte'sche

Digitized by Google

Gesetz bewiesen. Ist in der verschlossenen Röhre ein Flüssigkeitstropfen enthalten, und erhebt man sie über die andere, so zeigt sich bald, dass den entstehenden Dämpfen ein Maximum der Spannkraft zugehört; und fügt man zu dem Flüssigkeitstropfen noch ein gewisses Gasvolumen, so ist eben so leicht der Nachweis zu liefern, dass Gas- und Dampfspannung sich addiren.

Die verschliessbare Röhre befindet sich auf der Figur bei *pq*. Der 55 Centimeter lange gläserne Theil derselben ist calibrirt und zur Hälfte der Dicke auf einem in der Zeichnung kenntlichen hölzernen Schieber eingelassen, der links eine Centimetertheilung trägt. Am obern Ende ist ein eiserner Hahn angekittet, welcher oben mit einem kleinen Trichter versehen ist, behufs Aufnahme einiger in die Röhre überzuführender Flüssigkeitstropfen, wenn deren Dampfspannung bestimmt werden soll. Am untern Ende *q* ist die Glasröhre in eine eiserne Fassung gekittet, welche von unten oder durch seitliche Flügel an den hölzernen Schieber geschraubt wird. Die Fassung ist nach unten mit einer konisch sich erweiternden Durchbohrung versehen, in welcher ein kurzes eisernes Röhrenstück luft- und quecksilberdicht eingeschliffen ist, und mittelst einer Uebergriffschraube festgehalten wird. An dem nach unten vorstehenden Ende dieses Röhrenstückes ist der Kautschukschlauch *qts* angebunden. Der beschriebene Umweg war erwünscht, einerseits um den Schlauch nicht unmittelbar an der zerbrechlichen Glasröhre anbinden zu müssen, anderseits um einen leichten Zugang zur Röhre zu gewinnen, wenn sie einer Reinigung bedarf.

Das andere Ende des Schlauches führt zu der kürzeren aber viel stärkeren oben offenen Röhre *rs*, und diese ist ebenfalls zur Hälfte ihrer Dicke in einen Holzschieber eingelassen und auf demselben befestigt. Der Schlauch hat eine Länge von fast 3 Meter und besteht, um grössere Drucke aushalten zu können, aus zwei Lagen von vulkanisirtem Gummi, zwischen denen sich eine Doppellage eines hanfenen Gewebes befindet.

Die übrigen Theile des Apparates dienen zur Feststellung der Schieber mit ihren Röhren und zur Messung der Niveauunterschiede des Quecksilbers in denselben. Auf einer mit einem erhöhten Rande rings umgebenen Bodenplatte *mn* steht senkrecht ein Brett *abcd* von $2^1/_2$ Meter Länge. Dieses wird auf der Rückseite in geeigneter Weise gestützt und ist längs der Mitte der ganzen Vorderseite mit einer in

Digitized by Google

der Figur nur bei *e* sichtbaren hölzernen Leiste versehen. Beide Schieber *pq* und *rs* haben die Dicke dieser Leiste und sind so breit, dass sie den Winkel zwischen Leiste und Brett gerade ausfüllen. Auf der Rückseite eines jeden derselben ist eine Klemmschraube wie bei *o* befestigt, welche, um das Brett greifend, ihn in jeder Höhe an demselben feststellen kann. Auf der Leiste *e* befindet sich eine nach rechts und links gegen die Schieber überstehende dünne hölzerne Schiene *fghi*, welche eine schwarze Centimetertheilung auf weissem Grunde trägt. Um die Uebersicht auch für grössere Entfernung zu erleichtern, ist es zweckmässig eines der beiden Quecksilberniveaus auf einen der stärker ausgezogenen Skalentheile einzustellen, und von da aus den Vertikalabstand des andern Niveaus abzuzählen. Desshalb wurde die Schiene nicht unmittelbar auf der Leiste befestigt, sondern um etwa 14 Centimeter auf- und abwärts verschiebbar eingerichtet. Zu dem Ende sind zwei starke Messingfedern *k* und *l*, welche zur Schonung der Theilung mit kleinen Rädchen versehen wurden, mittelst Holzschrauben an der Leiste befestigt. Die Schrauben gehen durch schmale Schlitze in der Schiene, die Rädchen an den Federn greifen jedoch über diese Schlitze hinweg, und halten so die Schiene durch Reibung in jeder Höhe fest, auf welcher sie eingestellt wird.

Digitized by Google

Der Tachytrop, ein Apparat zur raschen und sicheren Herstellung von verschiedenen Combinationen galvanischer Elemente.

Von

Ph. Carl.

(Hiezu Tafel III.)

Die verschiedene Combination galvanischer Elemente erfordert, wenn die Verbindungsdrähte der Elementenpole einzeln verwechselt werden sollen, immer einen beträchtlichen Zeitaufwand, welcher namentlich bei Vorlesungen ungemein störend wirkt. Es wurden desshalb bereits mehrere Vorrichtungen angegeben, welche dieses Geschäft erleichtern sollen; allein selbst bei den (soviel mir wenigstens bekannt ist) neuesten derartigen Einrichtungen von Bothe [1]) und Stöhrer [2]) ist immer noch eine ganze Reihe von Handgriffen auszuführen, bis die neue Combination hergestellt ist, wenn dies auch rascher geschieht als durch die directe Verstellung der Poldrähte selbst. Ich habe nun kürzlich einen Apparat construirt, welcher jede neue Combination durch einen einzigen Handgriff auszuführen ermöglicht; man könnte denselben vielleicht in passender Weise „Tachytrop" nennen [3]).

In einem Brette AB sind, wie die Fig. 1 Taf. III zeigt, eine Reihe von Quecksilbernäpfchen z, z, z ... k, k, k ... eingelassen, [4]) welche durch Zuleitungsdrähte mit den Polklemmen $Z, Z, Z \ldots K, K \ldots$ der galvanischen Elemente E, E, E ... verbunden sind. Mit dem äussersten z-Näpfchen und dem äussersten k-Näpfchen auf der anderen

1) Bothe in Poggendorff's Annalen Bd. CLX. p. 383.

2) Stöhrer in Müller-Pouillet's Lehrbuch der Physik. VI. Auflage. Bd. II. p. 212.

3) An den beiden oben citirten Orten findet sich die Bezeichnung „Pachytrop", was wohl auf einem Druckfehler beruht.

4) Die Näpfchen sind dabei so eingerichtet, dass sie leicht herausgehoben werden können, um das Quecksilber aus ihnen zu entfernen.

Digitized by Google

Seite stehen die Klemmen P und P' zur Aufnahme der Schliessungsdrähte in Verbindung. Die Quecksilbernäpfchen sind auf diese Weise die Pole der Elemente $E, E, E \ldots$ geworden.

In die Quecksilbernäpfchen können nun verschiedene Systeme von Drahtverbindungen eingelegt und dadurch die verschiedene Combination der Elemente bewerkstelligt werden. Bei dem durch die Figur dargestellten Apparate ist eine Batterie von 12 Elementen angenommen und es können mittelst der durch Fig. 2 bis 7 dargestellten Systeme von Drahtverbindungen die Combinationen zu 12, 6, 4, 3, 2 und 1 Elementen hergestellt werden. Es sind nämlich dabei in gut gefirnissten Holzstäben Drähte in der Art eingelassen, wie dies die Figuren hinlänglich deutlich zeigen, als dass eine weitere Erörterung dazu erforderlich wäre. Die Enden der Drähte sind, damit sie eben in das Quecksilber der Näpfchen eintauchen können, rechtwinkelig umgebogen; die betreffenden Stellen sind in den Figuren durch schwarze Puncte bezeichnet.

Durch ein einfaches Einlegen des einen oder anderen Systemes in die Quecksilbernäpfchen mittelst der Knöpfe L, L' wird also eine verschiedene Combination der Elemente ausgeführt, ohne dass weitere Operationen hiezu nöthig wären.

Schliesslich bemerke ich, dass der Apparat in der Werkstätte meiner physikalischen Anstalt für eine beliebige Anzahl und Grösse von Elementen auf Bestellung ausgeführt wird.

Digitized by Google

Ueber Distanzmesser ohne Standlinie und ohne Winkelmessung.

Schreiben des Herrn **A. Martins** an den Herausgeber.

Im dritten und vierten Heft Ihres „Repertoriums für Physik, Technik etc." finden sich zwei Aufsätze über „Distanzmesser ohne Standlinie und ohne Winkelmessung". Dies Thema muss das Interesse aller Derjenigen erwecken, die vergeblich gestrebt haben, dies Problem zu lösen. Denn ein solches Distanzfernrohr von handlichen Dimensionen würde in der That ein Ideal sein; ein Ideal, das bereits Vielen vordem vorgeschwebt, bei näherer Prüfung jedoch in Täuschung zerronnen ist.

Der Unterzeichnete, der sich seit etwa 25 Jahren mit der Construction von Distanzmessern beschäftigt und unter dessen Leitung eine grössere Anzahl geringerer sowie genauerer Instrumente der Art ausgeführt worden ist, glaubt im Interesse der Sache an die bezeichneten Mittheilungen einige kritische Bemerkungen knüpfen zu dürfen.

Die Trefffähigkeit der neueren gezogenen Geschütze stellt heute an einen Distanzmesser bei weitem höhere Forderungen, wie sie die Verfasser der bezeichneten Aufsätze im Auge gehabt zu haben scheinen; denn man verlangt nicht allein eine Tragfähigkeit bis mindestens 5000 Schritt ($^1/_2$ deutsche Meile), sondern auch eine sehr viel grössere Genauigkeit als die vorgeschlagenen Distanzfernrohre geben können. Dass überdies die praktische Leistung, unter dem Einflusse mancherlei äusserer Störungen, in solchen Dingen stets hinter der Berechnung zurückbleibt, dies muss jeder Praktiker bestätigen.

Die Thatsache, dass sich die Vereinigungsweite der von einem Objecte auf ein Convexglas fallenden Lichtstrahlen mit der Entfernung des Objectes ändert, legt es so nahe die Vereinigungsweite als Maass für die Entfernung zu benutzen, dass man in der That von jeher bemüht gewesen ist, das einzige aber wesentliche Hinderniss zu über-

Digitized by Google

winden, welches darin besteht, dass bei grösseren Entfernungen die Unterschiede verschwindend klein werden. So ist z. B. bei einem Fernrohr von 2 Dec. Fuss Brennweite und einer Objectentfernung von 3000 Schritt, die vollkommen im Bereiche der Trefffähigkeit liegt, die Vereinigungsweite (nach der Formel $f = \frac{dp}{d-p}$) = 2,000666 Fuss, und für eine Entfernung von 2950 Schritt (den Schritt zu 2 Dec. Fuss preuss.) = 2,000678 Fuss.

Die Aenderung der Vereinigungsweite um 0,0012 Dec. Linien oder 0,000012 Fuss ist aber ein so ungemein kleines Maass, dass es in der Praxis gänzlich verschwindet; das heisst man wird in beiden Fällen, ohne Aenderung der Ocularstellung ein deutliches Bild des Objects erhalten. Ja noch mehr, man wird bei wiederholten Einstellungen nach ein und demselben Objecte grössere Einstellungsfehler wie 0,0012 Linie machen. Dies erklärt sich einfach durch die Grenze des wahrnehmbaren Gesichtswinkels. Wenn theoretisch die grösseste Deutlichkeit des Bildes da eintritt, wo sich die Strahlenbündel zu mathematischen Puncten vereinigt haben, so tritt für das Auge die völlige Deutlichkeit schon da ein, wo sich diese Strahlenbündel zu so kleinen Kreisen vereinigt haben, dass deren Durchmesser ausserhalb der Grenze des wahrnehmbaren Gesichtswinkels liegt. Die Grenzen der Deutlichkeit liegen daher vor und hinter dem mathematischen Vereinigungspuncte, und rücken um so weiter auseinander, je weniger die Lichtstrahlen divergiren.

Aus dieser Betrachtung geht schon ohne Berechnung hervor, dass der früher sowie neuerdings betretene Weg zu einer Täuschung führt. Denn durch die Vergrösserung der Scala (die durch die Vereinigungsweiten der verschiedenen Entfernungen gebildet wird) wird gleichzeitig der Einstellungsfehler vergrössert. Es ist gleichgültig, ob die Vergrösserung der Scala durch ein mechanisches Mittel, z. B. durch mikrometrische oder mikroskopische Messung, oder auf optischem Wege hergestellt wird.

Beides ist bereits vor langen Jahren practisch versucht worden. Der Vorschlag des Herrn Dr. Mensdorf hat etwas Originelles und ist unbestritten sinnreich. Trotz der von Herrn Mensdorf selbst angegebenen unhandlichen Dimensionen ist die Leistungsfähigkeit viel zu gering. Ein Doppelbild-Distanzmesser oder überhaupt ein Winkel-

Digitized by Google

messinstrument von gleicher Basislänge leistet über das Sechsfache; wie demnächst nachgewiesen werden soll. Was den Vorschlag des Herrn G. Merz betrifft, so ist wohl die Anbringung der Correctionslinse vor dem Objectiv neu. Der Unterzeichnete hatte bei seinen Versuchen diese Linse zwischen Objectiv und Ocular eingeschaltet. Letzteres möchte sogar compendiöser und handlicher sein. Es kann sowohl eine convexe wie eine concave Correctionslinse benutzt werden, deren Brennweite eine sehr beträchtliche sein muss, so dass die Compensation nicht wesentlich gestört wird, zumal wenn bei der Ausführung des Objectivs darauf Bedacht genommen ist. Es schien deshalb überflüssig, ein Achromat einzuschalten, da überdies die Versuche die vorstehend ausgesprochene Ansicht bestätigten und aus diesem Grunde abgebrochen wurden.

Ueber die specielle Einrichtung der für die preussische Artillerie gelieferten Entfernungsmesser, sowie über die augenblicklich im Fortgange begriffene Ausführung der neuesten Verbesserungen des Unterzeichneten, kann aus nahe liegenden Gründen zur Zeit keine nähere Mittheilung gemacht werden. Es wird hier auch genügen, das Princip etwas näher zu besprechen.

Denkt man sich ein Lineal von 2 Dec. Fuss (= 1 Schritt) Länge, an dessen einem Ende ein 30mal vergrösserndes Fernrohr rechtwinklich zum Lineal befestigt ist, während das andere Ende ein eben solches, um einen verticalen Zapfen drehbares Fernrohr trägt; es möge ferner die Abweichung von der parallelen Stellung beider Rohre, oder was dasselbe ist: der Winkel, welchen beide einschliessen, wenn sie auf einen fernen Punct gerichtet sind (den wir Objectwinkel nennen wollen), bis auf 1 Bogensecunde messbar sein; und nimmt man schliesslich an, dass ein unbewaffnetes Auge einen Gegenstand unter einem Gesichtswinkel von 30 Sec. eben zu erkennen vermag, so stellt sich die Leistungsfähigkeit dieses Apparats, nach bekannten trigonometrischen Grundsätzen, wie folgt:

Bei 499,4 Schritt Objectentfernung ist der Objectwinkel nahe 6′ 53″
Bei 500,75 „ „ „ „ „ „ 6′ 52″
bei 500 Schritt macht 1 Sec. Differenz = circa 1,3 Schritt

Bei 1001,1 Schritt Objectentfernung ist der Objectwinkel nahe 3′ 26″
Bei 1006,24 „ „ „ „ „ „ 3′ 25″
bei 1000 Schritt macht 1 Sec. Differenz = circa 5 Schritt

Digitized by Google

Bei 2002,57 Schritt Objectentfernung ist der Objectwinkel nahe 1′ 43″
Bei 2022,24 „ „ „ „ „ „ 1′ 42″
bei 2000 Schritt macht 1 Sec. Differenz = circa 20 Schritt

Bei 4000 Schritt Objectentfernung ist der Objectwinkel nahe 52″,5
Bei 4080 „ „ „ „ „ „ 51″,5
bei 4000 Schritt macht 1 Sec. Differenz = circa 80 Schritt.

Da die Genauigkeit der Messung im geraden Verhältnisse mit der Lineal- oder Basislänge steigt, so würde ein Instrument von 4 Fuss Basis, unter vorstehenden Annahmen, bei 4000 Schritt nur 40 Schritt Fehler geben etc.

Um nun die Leistungsfähigkeit dieses Distanzmessers mit der eines Distanzfernrohrs zu vergleichen, kann man zuvörderst von der Art und Weise, wie die Scala vergrössert wird, ganz absehen; denn es handelt sich lediglich darum: welche Veränderungen des Objectwinkels lassen sich überhaupt noch wahrnehmen, wenn man dieselben Annahmen zu Grunde legt wie beim bezeichneten Winkelmessinstrument?

Demnach wird es sich nur darum handeln, zu untersuchen, welchen Einfluss auf die Entfernung eine Aenderung des Objectwinkels von 1 Sec. hat. Um hier nicht zu kurz zu greifen, wollen wir annehmen, dass das Objectiv eine Oeffnung von 33,5 Pariser Linien (also sehr nahe 2 Dec. Zoll) habe. Da die Randstrahlen die am meisten gebrochenen, also diejenigen Lichtstrahlen sind, welche auf den Stellpunct der grössesten Deutlichkeit als die convergirendsten den meisten Einfluss haben, so kann man sich den Hergang so vorstellen, als habe man es nur mit der Bestimmung eines Dreiecks zu thun, dessen Basis der Durchmesser des Objectivs, und dessen Höhe die Entfernung ist; ganz wie bei dem Winkelmessinstrument. Da nun die Leistungsfähigkeit der Basislänge proportional ist, so würde ein Winkelmessinstrument von 2 Fuss Basis $\frac{2^0}{\frac{1}{2}}$ oder zehnmal so viel leisten wie ein Distanzfernrohr von 33‴,5 Apertur, wenn in beiden Fällen die Fernrohrvergrösserung dieselbe ist. Da nun aber das Distanzfernrohr bei dieser Oeffnung eine Brennweite von etwa dreifacher Länge, also auch dreifache Vergrösserung haben kann, so wandelt sich das Verhältniss 10:1 in 3,33:1 um. Das heisst also: ein Winkelmessinstrument von 2 Fuss Basis leistet $3\frac{1}{3}$ mal so viel wie ein Distanzfernrohr von 33‴,5 Apertur und circa 42 Zoll Brennweite.

Digitized by Google

Den zur Zeit gestellten Anforderungen entspricht ein solches Winkelmessinstrument von 4 oder allenfalls 3 Dec. Fuss Basislänge. Sollte ein Distanzfernrohr dasselbe leisten, so ersieht man, dass die ganz riesigen Dimensionen, die erfordert werden, die Ausführung zu einem Unding machen.

Beiläufig sei noch bemerkt, dass mit den bezeichneten Distanzmessern nicht wirkliche Winkel gemessen werden, sondern dass man sogleich die entsprechende Entfernung abliest. Ferner dass diese Distanzmesser sowohl mit 1 Fernrohr und 2 Spiegeln, sowie mit 2 Fernrohren in Gebrauch sind. Das benutzte Princip liegt allen Distanzmessern zum Grunde, die auf einige Schärfe der Messung Anspruch machen dürfen. Es handelt sich nur um die zweckmässigste practische Anwendung; denn so einfach die Sache scheint, so sind doch mancherlei Schwierigkeiten zu überwinden. Wer jedoch das bereits Geleistete kennt, der muss ein Distanzfernrohr für einen längst überwundenen Standpunct halten.

Digitized by Google

Netze und Kreismikrometer auf Glas für Mikroskope und Fernrohre von F. W. Breithaupt & Sohn in Cassel.

(Hiezu Figur 2 Tafel IV.)

Bereits in Dingler's polytechnischem Journale, 1864, Bd. 179, S. 259 — sodann in dem Repertorium für physikalische Technik von Dr. Carl, erstes Heft, Seite 57, ist der Netze und Mikrometer auf Glas, im Gegensatze zu den Fadennetzen etc. kurze Erwähnung gethan. Ich will mir jetzt erlauben, auf die Sache etwas näher einzugehen.

Die Wandelbarkeit der Fäden in den mikrometrischen Mikroskopen[1]) macht sich oft auf sehr störende Weise bei Aenderungen in der Atmosphäre wahrnehmbar, sie verdient daher die grösste Beachtung bei continuirlichen Beobachtungen, also bei Untersuchung der Genauigkeit von Eintheilungen oder bei Ausführung der letzteren auf Theilmaschinen. Durch Einsetzen eines Glasplättchens in die Mikroskope mit darauf eingeschnittenen schwarzen Strichen werden jene Aenderungen vermieden. Das Glasplättchen ist etwas grösser als die Oeffnung der Blende und wird entweder mit hartem Kitt auf letztere befestigt, oder mittelst angedrückten Grates wie Linsen in Messing gefasst und diese Fassung mit Schrauben so auf der Blende angebracht, dass man sie willkürlich verschieben und dann befestigen kann.

Die Abstände zweier Parallelstriche auf solchen Glasmikrometern können genau gleich ausgeführt und die sehr scharf begränzten Striche selbst werden in beliebiger Feinheit oder Stärke aufgetragen. Die Genauigkeit der Ablesung mittelst Parallelstrichen lässt sich bedeutend erhöhen, wenn rechts und links daneben noch einige, den nächsten Theilstrichen des Kreises entsprechende Strichepaare eingeschnitten werden. Durch die uns zu Gebote stehenden Mittel ist es möglich,

---

1) Beschreibungen solcher Mikroskope befinden sich in den „Principien der astronom. Instrumentenkunde von Dr. Ph. Carl Leipzig 1863" und in dem Werke von Dr. Hunäus: Die Instrumente der gesammten practischen Geometrie. Hannover 18.. etc.

Digitized by Google

die Entfernung der Theilstriche bis auf Tausendstel Millimeter zu verbürgen. — Wollte man ähnliches durch Spinnenfäden erreichen, so müssten diese unter sich verstellbar sein, die Einstellung würde indessen dem Augenmaasse anheim fallen.

Durch vorerwähnte Anordnung der Striche werden nichtperiodische Theilungsfehler direct ermittelt. Bringt man ober- oder unterhalb einen Mikrometer mit kurzen Strichen an, so kann man die Umgänge der Schraube, einzelne Theile derselben, sowie die Kreistheile selbst prüfen.

Bei Anwendung des Andreaskreuzes (Fig. 2, Tafel IV) ist statt des Metallstiftes für die Zählung der vollen Umgänge der Schraube am Rechen noch ein Strich auf das Glas gezogen, welcher in seiner Verlängerung den Winkel des Kreuzes halbiren würde und der auf der anderen Seite sich fortsetzt; dieser Strich hat ausserdem den Zweck, einen Theilstrich durch Drehung des Mikroskops zur Deckung zu bringen und so den Winkel desselben auch zu halbiren, wodurch die Ablesung eine schärfere wird. Wenn das Kreuz in der Mitte des Theilstriches steht, so zeigt sich auf dem Schnittpunkt der dunklen Kreuzlinien ein intensiv schwarzer Punct, welcher bei sehr geringer Drehung der Schraube vom Theilstrich rechts oder links sofort verschwindet.

Aus den genannten Eigenschaften ergeben sich schon viele Vortheile, welche mit Spinnenfäden gar nicht zu erreichen sind. Abgesehen von dem grossen Zeitaufwande und der Geschicklichkeit, welche das genaue und correcte Aufziehen derselben für Kreuze oder ganze Netze erfordert, ist besonders die grosse Veränderlichkeit und leichte Zerstörbarkeit solcher Netze etc., sowie endlich der, namentlich in südlichen Gegenden, nachtheilige Einfluss der Thätigkeit einer kleinen Spinne in Betracht zu ziehen, die mit ihrem Gespinnste unverdrossen die Fäden umwickelt und auf diese Weise unbrauchbar macht. Aus diesem Grunde allein haben wir öfters nach Südamerika Kreuze und Netze auf Glas geliefert.

Der Umstand, dass die heutige Astronomie mit der Schärfe ihrer Beobachtungen soweit vorgegangen ist, dass sie die Durchbiegung der Fäden in Rechnung bringen muss, macht auch in dieser Richtung die Kreuze und Netze auf Glas um so empfehlungswerther.

Die auf Glas getheilten Kreismikrometer zeichnen sich vor allen andern aus durch vollkommene Concentricität einer beliebigen Anzahl von Kreisen, während bei den viel theureren Stahlringmikrometern diese Concentricität nicht verbürgt werden kann.

Digitized by Google

Da die Entfernung der Parallelen auf dem Glasplättchen, wie schon bemerkt, auf das Genaueste bestimmt und ausgeführt werden kann, so lassen sich auch einfache Reichenbach'sche Distanzmesser, welche allerdings nur für ein gegebenes Längenmaass geeignet sind, mit grosser Zuverlässigkeit, herstellen. Indessen ist diese letztere Beschränkung doch nur scheinbar, da der Besitzer eines Instrumentes gewöhnlich nur mit Latten nach einerlei (landesüblichem) Maass, arbeitet, also auch den einfachen Distanzmesser überall anwenden kann. Der Abstand der Striche auf dem Glasplättchen lässt sich für jedes gegebene Fernrohr und Maass durch ein einfaches Hülfsmittel leicht bestimmen. Für die kurhessische Landesvermessung wurde ein solcher Distanzmesser angefertigt, bei welchem der Abstand der Striche 0,0791 Rheinl. Zoll = 206,8465 Trommeltheile unserer Theilmaschine betrug. Zur Prüfung wurde dann das mit dem Distanzmesser versehene Fernrohr über einer Marke aufgestellt, die von einer, an einem gegenüberliegenden Hause permanent angebrachten Scala 305,1 Fuss Rheinl. entfernt ist. Die Ablesung ergab 305' und liess also nichts zu wünschen übrig.

Ein solcher Distanzmesser ist viel billiger herzustellen wie der andere, bedarf keiner besonderen Distanzlatte, ist unveränderlich und ohne Correctionsschrauben und gestattet, wenn erst die gewiss nicht mehr in ferner Zukunft liegende Maasseinigung hergestellt sein wird, die allgemeinste Anwendung.

Digitized by Google

Die Schraube in ihrer Anwendung auf physikalische, mathematische und astronomische Instrumente.

Von

Ph. Carl.

(Hiezu Tafel V—VII.)

1. Die gesammte physikalische Technik kann in zwei grosse Abschnitte eingetheilt werden: in die allgemeine und specielle physikalische Technik.

Die allgemeine physikalische Technik hat zum Zweck, die Grundsätze und Methoden zu behandeln, welche bei der Construction aller Instrumente oder doch einer grossen selbstständigen Classe derselben in Anwendung kommen, sowie deren verschiedenartige Ausführung darzulegen.

Der Gegenstand der speciellen physikalischen Technik bildet die systematische Behandlung und Beschreibung der einzelnen Instrumente auf Grundlage der allgemeinen physikalischen Technik.

Von diesem Gesichtspunkte aus soll in der folgenden Abhandlung der Versuch gemacht werden, eines der wichtigsten Capitel der allgemeinen physikalischen Technik — die Anwendung der Schraube bei den physikalischen, mathematischen und astronomischen Instrumenten — zu behandeln. Dabei ist es jedenfalls unnöthig, das aus jedem Lehrbuche der Physik oder Mechanik hinlänglich Bekannte über das dieser wichtigen mechanischen Vorrichtung zu Grunde liegende Princip zu recapituliren; einige allgemeine einleitende Bemerkungen können jedoch der Abrundung des Ganzen halber nicht unterdrückt werden.

2. Die Schraube ist bekanntlich eine um einen Cylinder — den sogenannten Kern — gewundene schiefe Ebene. Die nach der Aufwickelung erhaltene Bahn der schiefen Ebene heisst der Gang der Schraube, die Höhe der schiefen Ebene gibt die Höhe des Schraubenganges, der Neigungswinkel der erzeugenden schiefen Ebene gibt die Steigung der Schraube.

Digitized by Google

Wickelt man die schiefe Ebene über einen Cylinder, so erhält man eine Schraubenspindel; wickelt man dagegen die schiefe Ebene im Innern eines hohlen Cylinders auf, so hat man eine sogenannte Schraubenmutter.

Mehrere Schraubengänge zusammengenommen nennt man ein Schraubengewinde und gebraucht diesen Ausdruck namentlich für die Gänge der Schraubenmutter.

Das Schraubengewinde kann ein flaches (Fig. 1 Taf. V), ein scharfes (Figur 2) oder ein abgerundetes (Fig. 3) sein. Im ersten Falle ist der Querschnitt eines Ganges ein Parallelogramm, im zweiten Falle ein gleichseitiges Dreieck, im dritten Falle ist der Winkel an der Kante dieses Dreieckes abgerundet.

3. Die Anforderungen, welchen eine brauchbare Schraube Genüge leisten muss, bestehen in folgenden Puncten[1]):

a) Die Gänge des Gewindes müssen eine dem Zwecke und dem Durchmesser der Schraube entsprechende Steigung und Stärke besitzen.

b) Die Steigung des Gewindes muss in allen Theilen der Schraube die gleiche sein.

c) Die Axe der Spindel wie der Mutter muss eine gerade Linie und ihr Querschnitt ein Kreis sein.

d) Das Schraubengewinde muss überall sauber und glatt sein, um bei der Bewegung jede unnöthige Reibung zu vermeiden.

e) Müssen Schraubenspindel und Schraubenmutter ganz genau in einander passen, so dass kein Klemmen oder Schlottern stattfinden kann. Es ist dies der Fall, wenn der Durchmesser des Kernes dem Durchmesser der Schraube an einem Rande der Gänge gleich ist; dabei müssen zugleich die Gänge der Spindel und der Mutter die gleiche Höhe haben. Sind diese Bedingungen nicht erfüllt, so kann eine Bewegung der Spindel eintreten, ohne dass die Mutter mit fortrückt; die Schraube hat dann, wie man sich in diesem Falle ausdrückt, einen todten Gang.

4. Das Material, aus welchem die bei unseren Instrumenten und Apparaten vorkommenden Schrauben verfertigt sind, ist je nach dem

1) Karmarsch, Handbuch der mechanischen Technologie. 4. Aufl. I. Bd. p. 337. — Hartmann, Vollständiges Handbuch der neuesten englischen Werkzeuglehre. 2. Bd. p. 356.

Digitized by Google

Bedürfnisse sehr verschieden; es kommen Schrauben aus Holz, Messing, Eisen und Stahl (sowohl blau angelassenem als ganz hartem) vor.

5. Die Schraubenspindeln tragen in der Regel an ihrem Ende den sogenannten Kopf. Dieser Kopf der Schraube bildet die Vorrichtung, um die Schraube gegen die zugehörige Mutter zu bewegen; in vielen Fällen kommt es jedoch auch vor, dass die Mutter gegen die Spindel bewegt wird.

Man hat bisher verschiedene Formen des Schraubenkopfes in Anwendung gebracht, nämlich:

a) cylinderische Schraubenköpfe (Fig. 4),
b) conische Schraubenköpfe (Fig. 12b),
c) viereckige Schraubenköpfe (Fig. 12d),
d) sogenannte randrirte Schraubenköpfe (Fig. 15).

Hat eine Schraube einen cylinderischen oder conischen Kopf, so ist die obere Basis desselben mit einem Einschnitte (Fig. 4, 14) versehen, in welchen der Schraubenzieher eingelassen wird, wenn die Schraube gedreht werden soll. Es kommen jedoch auch cylinderische Schraubenköpfe vor, bei welchen, wie dies Fig. 12c zeigt, durch den Cylinder senkrecht gegen die Axe desselben ein Loch gebohrt ist; soll die Schraube gedreht werden, so wird durch dieses Loch ein runder Stift gesteckt und mit diesem Stifte die Drehung bewerkstelligt.

Hat die Schraube einen viereckigen Kopf, so wird die Drehung mittelst eines besonderen Schlüssels ausgeführt, welcher entweder die Form eines Clavierschlüssels oder die in Fig. 13 dargestellte Form besitzt.

Die randrirten Schraubenköpfe sind an der Peripherie ringsum mit Einschnitten (Fig. 15) versehen, wodurch eine Drehung der Schraube mit der Hand leicht bewerkstelligt werden kann. Bei einem glatten Kopfe würden nämlich die Finger an dem Rande desselben herumgleiten, es würde also keine Drehung der Schraube zu Stande kommen, während bei einem randrirten Kopfe die weichen Finger sich in die Einschnitte einlegen und dadurch ein Ausgleiten derselben vermieden wird.

6. Die Schrauben sind bisher bei den physikalischen, mathematischen und astronomischen Instrumenten zu verschiedenen Zwecken verwendet worden, nämlich zu den folgenden:

a) Bedient man sich der Schrauben, um zwei Theile eines Apparates mit einander zu verbinden;
b) dienen dieselben zur Herstellung einer bestimmten Lage, oder

Digitized by Google

c) zur Herstellung einer Bewegung;

d) werden die Schrauben als Messapparate benützt und heissen dann, da es sich dabei in der Regel um die Messung kleiner Grössen handelt, Mikrometerschrauben.

I. Schrauben zur Verbindung zweier Theile eines Instrumentes.

7. Sollen Schrauben zur Verbindung zweier Theile eines Instrumentes benützt werden, so können zwei verschiedene Fälle eintreten:

a) entweder soll die Verbindung eine bleibende sein, oder

b) die beiden Theile sollen blos zeitweise mit einander verbunden werden.

A) Schrauben zur bleibenden Verbindung zweier Theile eines Instrumentes.

8. Will man zwei Theile eines Instrumentes ein für alle Mal fest mit einander verbinden, so lässt sich dies mittelst einer Schraube in verschiedener Weise bewerkstelligen:

a) entweder dadurch, dass man in die zu verbindenden Theile *A* und *B* (Fig. 4) eine Mutter mit bestimmtem Gewinde einschneidet und in diese Mutter die zugehörige Spindel *C* einschraubt, so dass sie zugleich in den beiden Muttern festsitzt, oder

b) man befestigt die Spindel *C* (Fig. 5) an dem einen zu verbindenden Theile *A*, lässt dieselbe dann durch das andere zu verbindende Stück *B* hindurchgehen und schraubt noch eine Mutter *MM* über die Spindel *C* so lange, bis sich das Stück *B* an das Stück *A* fest anlegt; dabei kann

c) das eine Stück *B* selbst die Mutter bilden. (Fig. 6.)

9. Bei den Apparaten und Instrumenten handelt es sich darum, entweder Holztheile oder Metalltheile in eine bleibende Verbindung zu bringen.

Die Holztheile der Apparate können wieder entweder durch hölzerne oder metallene Schrauben miteinander verbunden werden.

Die zu diesem Zwecke verwendeten hölzernen Schrauben haben einen starken Kern und ein starkes dreieckiges oder ganz wenig abgerundetes Gewinde und sind aus hartem Holze verfertigt. Um mittelst derselben eine feste Verbindung zweier Apparatentheile herzustellen, wird gewöhnlich der zweite Fall des vorigen Paragraphen angewendet, wobei die Spindel an dem einen Stücke sich befindet und dieses Stück

Digitized by Google

an dem zweiten damit zu verbindenden Theile durch eine Mutter fest angezogen wird.

Als Beispiel hiezu können wir die Art und Weise wählen, wie die Füsse der meisten Electrisirmaschinen mit dem Bodenbrette derselben verbunden werden. Der Glasfuss *G* (Fig. 7) ist hiebei in den hölzernen Träger *H* eingekittet. Mit diesem letzteren ist die hölzerne Schraubenspindel *S* fest verbunden, welche durch ein Loch der Bodenplatte *B* hindurchgeht. Die Mutter *M* wird fest angezogen und dadurch eine feste Verbindung des Stückes *H* und damit des ganzen Fusses *G* mit dem Bodenbrette *B* hergestellt.

10. Will man Holztheile eines Apparates durch metallene Schrauben mit einander fest verbinden, so wird gewöhnlich der erste Fall des §. 8 in Anwendung gebracht, d. h. die Metallschraube bildet die gemeinschaftliche Spindel der in den Holztheilen befindlichen Muttern.

Die dabei verwendeten Metallschrauben sind die allgemein als Holzschrauben bezeichneten eisernen oder messingenen Schrauben, welche ein scharfes Gewinde (Fig. 8, 9) besitzen[1]), dessen Gänge sehr dünn, sehr tief und scharfrandig sind, aber weit auseinander liegen müssen, damit sie im Holze, wo ein glattes, rundes Loch vorgebohrt ist, sich selbst beim Einschrauben ihre Muttergänge schneiden, zugleich aber so viel Holz stehen lassen, dass nicht leicht ein Ausreissen desselben stattfindet. Die Holzschrauben sind häufig auch conisch und das Gewinde geht bei ihnen bis an das spitzige Ende, wodurch einmal das Einschneiden in das Holz erleichtert und das vollständige Vorbohren eines Loches erspart werden soll.

Der Kopf der Holzschrauben ist entweder halbrund (Fig. 8 und 10) oder viereckig und steht nach dem Einschrauben über das Holz heraus, oder er ist conisch (Fig. 9) und dringt dann nach dem Einschrauben ganz in das Holz ein, er wird, wie man sich hier ausdrückt, in dasselbe versenkt (Fig. 11). Die halbrunden und conischen Schraubenköpfe tragen einen Einschnitt für den Schraubenzieher; hat dagegen die Schraube einen viereckigen Kopf, so wird sie mittelst eines Schlüssels gedreht.

11. Bei der bleibenden Verbindung von metallenen Instrumententheilen kommen die sämmtlichen in §. 8 angeführten Arten der festen Verbindung vor.

---

1) Karmarsch, Handbuch der mechanischen Technologie. I. p. 339.

Digitized by Google

Die hiezu gebrauchten Schrauben bestehen je nach dem Bedürfnisse aus Eisen, Messing oder Stahl, welcher dabei meistentheils blau angelassen ist. Das Gewinde ist bei den grösseren Metallschrauben dreieckig, bei den kleineren abgerundet, und die Steigung der Gänge nur gering. Die Köpfe dieser Schrauben sind cylinderisch (Fig. 4) oder conisch (Fig. 12 b) oder auch viereckig (Fig. 12 d). In den beiden ersten Fällen haben sie wieder einen Einschnitt für den Schraubenzieher, die viereckigen Köpfe werden mit einem geeigneten Schlüssel gefasst, wenn die Schraube gedreht werden soll. Bei cylinderischen Schraubenköpfen kommt es jedoch auch vor, dass durch den Cylinder ein Loch gebohrt ist (Fig. 12c), durch welches zum Drehen der Schraube ein Stift gesteckt wird.

Die Schrauben mit cylinderischen und conischen Köpfen werden sehr häufig zum Versenken eingerichtet, wie dies Fig. 12 a und b zeigen. Es wird nämlich zu diesem Zwecke in das Metall ein dem Schraubenkopfe entsprechendes Loch eingebohrt, sodass nach dem Einschrauben die Oberfläche des Schraubenkopfes mit der Fläche des zu verbindenden Metallstückes zusammenfällt.

Sehr wichtig ist es hiebei, um eine Verwechselung der einmal eingepassten Schrauben zu verhüten, dieselben zu bezeichnen. Die Bezeichnung wird meistentheils durch Puncte am Kopfe der Schraube und zugleich neben der Mutter angebracht. Dabei befinden sich die Puncte entweder an der Oberfläche des Schraubenkopfes (Fig. 14) oder, wenn man auf das schönere Aussehen Rücksicht nehmen will, an der Seitenfläche (der unteren Basis) des Schraubenkopfes (Fig. 12 a u. b.)

B. Schrauben zur provisorischen Verbindung zweier Theile eines Instrumentes. – Klemmschrauben.

12. Sehr häufig sollen mit den Apparaten und Instrumenten Einrichtungen verbunden werden, welche den Zweck haben, zwei Theile zeitweise in der Art zu verbinden, dass die Verbindung ohne besondere Mühe wieder aufgehoben werden kann. Es lässt sich dies durch eine sogenannte Klemmschraube bewerkstelligen, d. h. durch eine Schraube, welche entweder an dem festen oder beweglichen Instrumententheile angebracht ist und gegen das andere Stück einen solchen Druck ausübt, dass eine weitere Bewegung nicht mehr möglich ist, so lange bis der durch die Schraube ausgeübte Druck wieder aufgehoben wird.

Digitized by Google

Die Klemmschrauben sind, wenn es sich um die provisorische Verbindung von Holztheilen handelt, von Holz, für Metalltheile bestehen sie aus Messing, Eisen oder Stahl. Sie unterscheiden sich von den bisher behandelten Schrauben dadurch, dass sie in den meisten Fällen einen grösseren Kopf haben, der, weil die Drehung — das Klemmen — in der Regel mit der Hand ausgeführt wird, randrirt ist (Fig. 15).

13. Die Anwendung von Klemmschrauben ist ungemein mannichfaltig und es würde grossen Raum erfordern, diese Anwendung insgesammt im Detail zu erörtern. Einige Fälle jedoch, wo sie eine besonders wichtige Rolle spielen, mögen hier Platz finden.

Bei Stativen werden die Klemmschrauben benützt, um einen Träger in einer bestimmten Höhe feststellen zu können. Dieser Fall ist durch Fig. 16 veranschaulicht. Auf dem Fusse F ist die cylinderische Säule A befestigt; diese Säule geht durch den Ring R, mit welchem der Träger H fest verbunden ist. Durch den Klemmring R geht die Schraube S; wird diese angezogen, so wird durch den Druck, welchen die Schraube S ausübt, der Ring R gegen die Säule A so fest angezogen, dass eine Bewegung nicht mehr statthat, und es kann also der Träger H in einer beliebigen Höhe festgestellt werden. Die Figur 17 zeigt die Klemme vergrössert im Querschnitte: R ist wieder der Klemmring, A die Säule und S die Klemmschraube.

Diese Einrichtung wird sowohl bei hölzernen als metallenen Stativen angewendet. Fig. 18 zeigt eine specielle Anwendung derselben,[1]) welche dazu dient, den Fresnel'schen Spiegelversuch anzustellen und hiebei die beiden Spiegel FF' in der Höhe des Lichtpunctes aufstellen zu können. A ist die Säule, welche hier viereckig ist; diese geht durch den Spiegelträger M M hindurch, welcher durch Anziehen der Klemmschraube S in einer beliebigen Höhe der Säule A festgestellt werden kann.

Analoge Einrichtungen kommen bei den Cathetometern sowie bei den Ablesefernrohren überhaupt vor.

Um bei diesen Klemmen das Eindrücken der stark angezogenen Schraube S in die Säule A zu vermeiden, muss dieselbe zum wenigsten an ihrem Ende kugelförmig abgerundet sein. Allein selbst dann noch können Eindrücke in der Säule zurückbleiben und es ist desshalb zweckmässig, wenigstens bei feineren Stativen zwischen das Schrauben-

1) Müller-Pouillet's Lehrbuch der Physik. 6. Aufl. I. Bd. p. 756.

Digitized by Google

ende und die zu klemmende Säule *A* ein Stück zu bringen, das sich an die letztere mit einer grösseren Fläche anlegt und so ihre Abnützung verhindert (Confer. §. 15).

14. Eine Hauptrolle spielen die Klemmschrauben bei den galvanischen Apparaten. Es handelt sich nämlich bei diesen darum, die Leitungsdrähte mit den Polen der Stromerreger (dem Elemente oder der Batterie) und unter einander zu verbinden. Es ist dabei vor Allem zu bemerken, dass man eiserne Schrauben bei den galvanischen Klemmen vollständig vermeiden sollte, weil das Eisen zu leicht rostet.

Die Figuren 19—23 Tafel V und VI zeigen einige der am häufigsten bei galvanischen Apparaten vorkommenden Klemmen; die Anwendung derselben ist für denjenigen, der sich mit galvanischen Experimenten zu beschäftigen hat, ohne Weiteres einleuchtend.

15. Von grösster Wichtigkeit ist ferner die Anwendung der Klemmschrauben bei den Winkelmessinstrumenten oder überhaupt in denjenigen Fällen, wo es sich darum handelt, eine Bewegung um eine Axe zeitweise aufzuheben.[1])

Eine ganz einfache Axenklemme stellt Figur 24 Taf. VI dar. Die Axe geht durch den Ring *RR* genau hindurch und lässt sich in demselben drehen; bei *cc* ist aus dem Ringe ein Stück Metall herausgenommen und dafür ein anderes eingesetzt, welches zugleich mit dem Ringe ausgedreht wurde, so dass es genau einen Theil der inneren Peripherie desselben bildet. Dieses Stück *cc* wird nun, wenn geklemmt werden soll, durch Anziehen der Schraube *S* mit seiner inneren Fläche so stark an die Axe angedrückt, dass eine weitere Bewegung derselben nicht mehr stattfinden kann. Durch das Stück *cc* wird nämlich der Missstand beseitigt, dass beim starken Anziehen der Schraube keine Verletzungen der kreisrunden Gestalt der Axe erzeugt werden.

In manchen Fällen — z. B. bei den Meridianinstrumenten — ist man genöthigt, die Klemmschraube sehr lang zu nehmen, wie dies Figur 25 zeigt. Man lässt dann die lange Schraube *s*, *s*, *s* durch einen mehrmals durchbrochenen Arm führen. Anstatt der vorhin angegebenen Art, den directen Druck des Schraubenendes gegen die Axe zu verhüten, kann man dabei auch durch den Ring *RR* bei *c* ein cylindrisches Loch bohren und in dieses Loch wieder einen anderen Cylinder bringen, der zugleich mit dem Ringe *RR* ausgedreht wird und

1) Siehe meine Principien der astronomischen Instrumentenkunde. Leipzig 1863. p. 65.

Digitized by Google

sich beim Anziehen der Schraube *s*, *s*, *s* an die Axe anlegt, wodurch also dieselbe festgeklemmt wird, ohne dass das Schraubenende direct auf die Axe wirkt.

Sehr gut wird dieser directe Druck der Klemmschraube gegen die Axe bei der Einrichtung vermieden, wie sie Repsold dem Klemmungsarme am grossen Meridiankreise des Puleowaer Sternwarte gegeben hat.[1]) Bei demselben befinden sich nämlich in dem Ringe *RR* (Fig. 26) drei andere dünne, federnde Ringe, deren äusserster sich genau an den Ring *RR* anlegt. Der mittlere dieser Ringe ist mit dem äusseren sowohl als auch mit dem inneren an vier um 90° von einander abstehenden Puncten verbunden, doch so, dass die vier Puncte, an denen er mit dem inneren Ringe verbunden ist, um 45° von den vier Puncten abstehen, welche seine Verbindung mit dem äusseren Ringe herstellen. Wird nun durch Anziehen der Schraube *s*, *s*, *s* ein Druck gegen den äussersten Ring ausgeübt, so vertheilt sich dieser Druck an vier Stellen der durch den innersten Ring gehenden Axe.

Auch die Brèithaupt'sche Einrichtung der Klemmung an der Axe, welche bereits pag. 324 des ersten Bandes vom Repertorium beschrieben wurde, ist sehr zweckmässig.

16. Trägt das Winkelmessinstrument einen Kreis, so hat man vielfach die Klemmvorrichtung an der Peripherie dieses Kreises angebracht. Es werden nämlich dabei zwei Metallstücke *MM* (Fig 29) dadurch, dass man dieselben mittelst der Klemmschraube *S* fest zusammenzieht, mit den Flächen *c*, *c* gegen den dazwischen liegenden Limbus des Kreises angedrückt und so eine Weiterbewegung der mit der Axe verbundenen Alhidade verhindert. An dem unteren Stücke *M* befindet sich dabei eine Erhöhung *a*, welche in eine entsprechende Vertiefung am Kreise eingreift und den Zweck hat, der Klemmvorrichtung, wenn sie geöffnet, d. h. wenn die Schraube *S* nicht fest angezogen ist, eine ordentliche Führung bei der Weiterbewegung zu geben.

II. Schrauben zur Herstellung einer bestimmten Lage.

17. Die Schraube kommt auch in Anwendung, wenn es sich darum handelt, einen Theil eines Instrumentes in eine bestimmte Lage zu bringen, und zwar dienen hiebei die Schrauben entweder

a) dazu, einer Linie eines Instrumententheiles oder

---

1) W. Struve, Déscription de l'Observatoire central de Puleova. Taf. XXX.

Digitized by Google

b) einer Fläche am Instrumente eine bestimmte Lage zu geben, ferner werden sie benützt, um

c) zwei von einander unabhängige Puncte oder Linien in ein und dieselbe gegebene Linie einzustellen.

Die bei diesen drei Fällen in Anwendung gebrachten Schrauben nennt man Stellschrauben oder Correctionsschrauben; sie haben randrirte Köpfe, wenn sie mit der Hand gedreht werden sollen, oder cylindrische Köpfe mit Einschnitten für den Schraubenzieher oder mit Löchern für einen Drehstift.

a) Schrauben zur Einstellung eines Instrumententheiles in eine bestimmte Linie.

18. Handelt es sich darum, eine Linie an einem Apparate in eine bestimmte Lage einzustellen, so genügen dazu im Allgemeinen zwei Schrauben. Ist das eine Ende der einzustellenden Linie bereits in der bestimmten Lage und ist diese Linie daselbst um eine Axe (oder ein Charnier) drehbar, so reicht sogar eine einzige Schraube zu diesem Zwecke hin.

Dieser Fall kommt z. B. bei dem Lamont'schen magnetischen Theodolithen oder dessen Galvanometer vor, wo die optische Axe des Fernrohres *F* (Figur 33) senkrecht gegen die Ebene des Magnetspiegels gestellt werden soll. Das Fernrohr ist dabei an seinem Objectivende um die Axe *A* drehbar; andrerseits wirkt die Schraube *S* gegen das Fernrohr, so dass die richtige Lage der optischen Axe durch Drehen dieser Schraube hergestellt werden kann.

Eine Anwendung dieses Falles kommt auch bei der Correction der Libellenröhren gegen ihre Fassung vor.

b) Schrauben zur Einstellung eines ebenen Instrumententheiles in eine bestimmte Lage.

19. Will man einen ebenen Instrumententheil mittelst Schrauben in eine bestimmte Lage bringen, so sind im Allgemeinen drei Schrauben hinreichend, da durch drei Puncte die Lage der einzustellenden Ebene vollständig bestimmt ist.

Bei dem hier zu betrachtenden Falle handelt es sich meistentheils darum, eine Ebene am Instrumente horizontal oder damit einen gegen diese Ebene senkrecht stehenden Theil vertical zu stellen. Es geschieht dies dadurch, dass man mit dem Instrumente einen Dreifuss verbindet

Digitized by Google

und durch die drei Füsse desselben Stellschrauben — sogenannte Fussschrauben — hindurchgehen lässt.

Diese Fussschrauben haben ein abgerundetes oder dreieckiges Gewinde mit mässiger Steigung und sind mit einem grossen randrirten Kopfe versehen; das untere Ende derselben ist conisch zu einer Spitze abgedreht, so dass die Schraube blos mit einem Puncte auf der Unterlage des Instrumentes aufruht.

20. Die wichtigste Anwendung finden diese Schrauben bei allen Instrumenten, welche horizontale, getheilte Kreise besitzen, also vorzüglich die transportablen astronomischen Instrumente — die Theodolithen, die tragbaren Passagen-Instrumente und die Universal-Instrumente.

Der Dreifuss hat bei diesen Instrumenten verschiedene Formen erhalten, die sich jedoch in wesentlichen Puncten fast gar nicht von einander unterscheiden, wie dies Fig. 34 bis 37 zeigen. Die Form der Fussschrauben ist ebenfalls aus diesen Figuren ersichtlich; sie unterscheiden sich in zwei Classen, je nachdem der randrirte Kopf

a) am oberen Ende (Fig. 34, 35 und 36) oder
b) zwischen dem Gewinde und der Spitze am unteren Ende (Fig. 37) angebracht ist.

Um hiebei ein Auslaufen der Schraube gegen ihre Mutter zu verhüten, ist sehr häufig das Ende der Füsse geschlitzt und mit einer Klemmschraube versehen (Fig. 36), vermittelst welcher ein zu leichter Gang der Fussschraube stets beseitigt werden kann.

Damit die einmal erhaltene richtige Stellung des Horizontalkreises für längere Zeit erhalten bleibe, kann man, wie dies Lamont bei seinem magnetischen Theodolithen gethan hat, oben über die Schraube noch eine Mutter — eine sogenannte Versicherungsmutter — schrauben, wobei, wenn diese angezogen ist, eine Drehung der Fussschraube weniger zu befürchten ist.

Der Kopf der Fussschrauben ist häufig auch mit einer Eintheilung versehen und unabhängig davon ist am Fusse ein Index befestigt, so dass sich die Grösse einer vorgenommenen Drehung in Schraubenumgängen und deren Bruchtheilen genau bestimmen lässt.

Breithaupt hat die conische Spitze am unteren Ende der Fussschraube durch eine Kugel ersetzt; das Nähere über diese Abänderung findet sich Seite 323 des ersten Bandes unseres Repertoriums.

Digitized by Google

c) Schrauben zur Einstellung zweier von einander unabhängigen Puncte oder Linien in eine und dieselbe gerade Linie.

21. Wenn es sich darum handelt, zwei von einander unabhängige Puncte oder Linien an einem Instrumente in eine bestimmte Gerade einzustellen, so lässt sich dies dadurch bewerkstelligen, dass man Einrichtungen anbringt, durch welche die beiden Puncte oder Linien vermittelst Stellschrauben nach zwei gegen einander senkrechten Coordinaten verschoben werden können.

Gewöhnlich handelt es sich jedoch nicht sowohl darum, die beiden Puncte genau in einer bestimmten geraden Linie einzustellen, als vielmehr darum, diese beiden Puncte der bestimmten Linie (oder selbst blos einer Ebene) parallel einzustellen.

Practisch kommt dieser Fall z. B. bei den Lagern der Meridian-Instrumente vor, deren Rotationsaxe genau dem Horizonte parallel und zugleich senkrecht gegen den Meridian gestellt werden soll. Man richtet dabei die beiden Lager so ein, dass das eine derselben L (Fig. 42 Taf. VII) durch zwei Schrauben S, S in dem Rahmen R, R in horizontalem Sinne, das andere Lager L' (Fig. 41 Taf. VII) durch die Schraube S' im Rahme $R'R'$ in verticalem Sinne verschoben werden kann, wodurch die angegebene Einstellung ermöglicht wird.

Bei den Höhen- und Azimutal-Instrumenten kommt es blos darauf an, die horizontale Axe des Fernrohres genau der Ebene des Horizontes parallel zu stellen; es genügt desshalb in diesem Falle, blos an dem einen Lager der Axe eine Correction in verticalem Sinne hervorbringen zu können. Sehr zweckmässig ist dafür die Breithaupt'sche Correctionsvorrichtung, welche bereits im ersten Bande des Repertoriums Seite 324 beschrieben wurde.

III. Schrauben zur Herstellung einer Bewegung.

22. Mit den im vorhergehenden Capitel behandelten Schrauben wird schon eine Bewegung eines Instrumententheiles ausgeführt; die einmal erhaltene Endstellung bleibt jedoch dabei unverändert, so lange wenigstens die Stellschrauben ihre Lage nicht ändern, oder so lange das ganze Instrument nicht an einen andern Platz gebracht wird, wodurch eine erneute Einstellung ausgeführt werden muss.

In dem folgenden Abschnitte sollen nun einige Anwendungen der Schraube erläutert werden, bei welchen dieselbe benützt wird, um bei

Digitized by Google

jeder neuen Beobachtung, die mit dem Instrumente angestellt wird, eine Bewegung zu erzeugen.

Bei allen Instrumenten nämlich, bei denen eine Axenbewegung geklemmt wird (§§. 15 u. 16), muss noch die ganz genaue Ausführung der definitiven Einstellung durch eigene Einrichtungen bewerkstelligt werden. Diesen Einrichtungen, welche man gewöhnlich die feine Bewegung nennt, liegt in den meisten Fällen die Schraube zu Grunde und zwar kommen dabei folgende verschiedene Arten ihrer Anwendung vor.

1) Tangentenbewegung.

23. Bei der Tangentenbewegung wird die genaue Einstellung durch eine Schraube bewerkstelligt, deren Axe senkrecht auf dem Ende des Radius der Bewegung steht, also eine Tangente bildet; es ist diese Art der freien Bewegung durch Fig. 30 dargestellt.

An dem Klemmringe R ist der Arm A befestigt, welcher also durch die Klemme K festgestellt werden kann (§ 15). Durch das Ende dieses Armes geht senkrecht dagegen die Schraube S hindurch, welche sich an einen mit der Alhidade fest verbundenen Stift d anlegt, so dass also durch Drehen der Scheibe die Alhidade, oder eigentlich das mit ihr verbundene Fernrohr genau eingestellt werden kann. Ist zu dieser genauen Einstellung ein Rückwärtsgehen der Alhidade erforderlich, so muss die Schraube S auch aus dem Arme A herausgedreht werden; damit aber dann der Stift d zugleich mitgeht, wirkt gegen denselben eine Feder F, welcher bei s an den Arm A angeschraubt ist. Man darf hiebei der Schraube jedoch nur wenige Gänge geben, da sonst die gegendrückende Feder sehr bald lahm wird. In früherer Zeit hat man die Schraube mittelst eines Halses in dem zu bewegenden Stücke d befestigt, so dass die Feder überflüssig war; allein es entstand dabei ein so beträchtlicher todter Gang, dass man davon zurückgekommen ist.

24. Gegenwärtig wird bei der angegebenen Einrichtung die Feder F durch eine Spiralfeder ersetzt. Der Arm A endigt dann in eine Gabel a, a' (Fig. 31); an dem Ende a ist eine Büchse b angebracht, in der sich die Spiralfeder f (Fig. 32) befindet. Die Spiralfeder drückt gegen eine Platte, die mit dem Stift c verbunden ist; dieser legt sich gegen das Alhidadenende d an, gegen welches durch das Ende a' der Gabel hindurch die Schraube SS wirkt.

Das Nähere über diese Einrichtung findet sich in meinen Principien der astronomischen Instrumentenkunde, Seite 69.

Digitized by Google

2) Sehnenbewegung.

25. Bei dieser Art der feinen Bewegung, welche in Fig. 28 dargestellt ist, sind die beiden Puncte c und c' der Schraube SS gleich weit vom Mittelpuncte der Axenbewegung entfernt, weshalb man ihr die Bezeichnung der Bewegung nach der Sehne beigelegt hat. Bei c' ist die Schraube mit dem zu bewegenden Theile des Instrumentes, nämlich mit der Alhidade verbunden. Die Mutter c, durch welche die Schraube SS hindurchgeht, ist fest oder sie wird mit der Klemme K verbunden und also beim Klemmen festgestellt. Eine Drehung der Schraube erzeugt demnach eine Fortbewegung von c und damit der Alhidade oder des mit ihr verbundenen Fernrohres, so dass durch diese Vorrichtung eine genaue Einstellung des letzteren bewerkstelligt werden kann. Das Nähere hierüber findet sich wieder in meinen Principien der astronomischen Instrumentenkunde, Seite 67.

26. Man hat bei der Sehnenbewegung vielfach die sogenannte Differentialschraube in Anwendung gebracht. Bei derselben sind auf derselben Spindel zwei Gewinde s und S (Fig. 43) von verschiedener Steigung aufgeschnitten. Das weniger steile, also feinere s geht durch die mit der Klemme verbundene Mutter c, das gröbere hat seine Mutter c' in Verbindung mit dem zu bewegenden Stücke. Ist nun die Klemme festgestellt und wird der Kopf K von links nach rechts (von vorn geschen) gedreht, so bewegen sich die beiden Spindeln in ihren Muttern vorwärts. Beträgt die Ganghöhe des gröberen Gewindes m-Theile, die Ganghöhe des feineren Gewindes n-Theile eines bestimmten Maasses, so ist eine Bewegung von s in c um n, von S in c' um m-Theile dieses Maasses ausgeführt; da aber c fest ist, so wird sich c' und das mit ihm verbundene, zu bewegende Stück im Endresultate blos um die Grösse $m - n$ fortbewegt haben. Man kann also auf diese Weise eine sehr feine Bewegung erzeugen.

3) Bewegung mittelst einer Schraube ohne Ende.

27. Anstatt der bisherigen Arten der Bewegung kann man auch die sogenannte Schraube ohne Ende anwenden.

Die Schraube ohne Ende unterscheidet sich von der gewöhnlichen Schraube im Wesen blos dadurch, dass durch sie eine Bewegung nicht durch ein Fortrücken der Schraubenspindel, sondern blos durch eine Drehung derselben um ihre Axe erzeugt wird.

Hat man eine kreisförmige, um ihren Mittelpunct drehbare Scheibe KK

Digitized by Google

(Fig. 27) und ist am Rande derselben eine Mutter eingeschnitten, welche zu der nebenan befindlichen Schraube ohne Ende SS gehört, so kann, wenn man diese Schraube in die Mutter einsenkt, durch eine blosse Drehung um die Axe der Spindel eine Bewegung der Scheibe KK um ihren Mittelpunct hervorgebracht werden.

Will man demnach die Schraube ohne Ende zur feinen Bewegung verwenden, so schneidet man in den Rand des getheilten Kreises — wie dies bei den kleinen Fraunhofer'schen Heliometern stattfindet — oder in eine dazu concentrische Scheibe am Rande die Mutter ein. Nebenan befindet sich die Schraube, die mittelst einer eigenen Einrichtung, gewöhnlich mittelst einer Excentrik (e in Fig. 27), aus der Mutter gehoben oder in dieselbe gelegt werden kann. Ist sie aus der Mutter gehoben, so hat eine freie Bewegung des Kreises statt; wird sie in die Mutter eingelegt, so ist dadurch zunächst diese freie Bewegung aufgehoben — es ist geklemmt. Wird aber die Schraube nun um ihre Axe gedreht, so kann damit die feine Einstellung ausgeführt werden.

Die Figg. 45, 46 zeigen die Anwendung der Schraube ohne Ende für die genaue Einstellung der Messtischplatte; das Wesentliche dieser Einrichtung folgt unmittelbar aus dem Gesagten, das Nähere kann in: „Hunäus, die geometrischen Instrumente etc.", p. 126, nachgesehen werden.

28. Man gebraucht die Schraube ohne Ende auch vielfach, um durch dieselbe gezahnte Räder in Bewegung zu versetzen, indem dabei die Schraubengänge in die Zähne derselben eingreifen. Durch Drehen der das Rad tangirenden Schraube um ihre Axe wird so ein Zahn nach dem andern fortgeschoben und dadurch eine Drehung des Rades verursacht. Die Schraube hat dabei in der Regel blos einige wenige Gänge und wird dann gewöhnlich eine Schnecke genannt.

Von den vielen hierher gehörigen Anwendungen wollen wir blos die beim Neumann'schen Anemometer hervorheben, welches durch Fig. 39 im Durchschnitte, durch Fig. 38 in der Projection auf die Bodenplatte dargestellt ist. Die Windflügel FF drehen sich um eine Axe AA, auf der sich die Schnecke S befindet; diese greift in das gezahnte Rad Z ein. Drehen sich nun die Windflügel FF unter dem Einflusse einer Luftströmung, so wird die Schnecke S und durch diese das Rad Z gedreht; ein mit der Axe desselben verbundener Zeiger l (Fig. 40) giebt an einer vor dem Rade befindlichen Theilung die Anzahl der Umdrehungen an.

Digitized by Google

IV. Die Mikrometerschraube.

29. Die Schraube kann auch als Messapparat zum Messen kleiner Grössen benützt werden und wird dann eine Mikrometerschraube genannt. Die Art und Weise, wie damit die Messung ausgeführt wird, ist dem Wesen nach durch Figur 44 veranschaulicht.

In dem Rahmen RRR kann ein Stück M hin und her verschoben werden. In dieses Stück M ist eine Mutter für die Schraube SS eingeschnitten, welch' letztere mittelst des randrirten Kopfes K wohl um ihre Axe gedreht, nicht aber der Länge nach bewegt werden kann. Wird nun die Schraube SS mittelst des Kopfes K gedreht, so wird das Stück M je nach der Drehung vorwärts oder rückwärts bewegt, und die Anzahl der Schraubenumgänge giebt, wenn man die Höhe eines Ganges kennt, die Grösse der Verschiebung von M an.

Um auch noch Unterabtheilungen eines Schraubenumganges in Rechnung ziehen zu können, ist mit dem Kopfe K eine kreisförmige Scheibe TT, die sogenannte Trommel, verbunden, welche an ihrem Rande eine Theilung in 10 oder 100 Intervalle besitzt, so dass mittelst des Index i die Drehung noch nach Zehntel oder Hundertel Umgängen bestimmt und die Verschiebung von M noch in Zehnteln oder Hunderteln der Höhe eines Schraubenganges angegeben werden kann.

30. Wenn mit der Mikrometerschraube feine Messungen ausgeführt werden sollen, so müssen bei derselben vor Allem die in §. 3 angeführten Bedingungen für eine gute Schraube genau erfüllt sein. Namentlich müssen alle Gänge die gleiche Höhe besitzen und dabei die Steigung ganz constant sein. Man prüft den ersteren Punct dadurch, dass man die gleiche Länge mit verschiedenen Theilen der Schraube misst; den zweiten Punct untersucht man, indem man ganz kleine Längen, welche blos einen halben oder einen Viertel-Umgang ausmachen, mit der Schraube durchmisst. Die Resultate sollen für alle Theile der Schraube gleich ausfallen; es werden jedoch selbst bei den guten Schrauben kleine Abweichungen vorhanden sein, die man bei den Resultaten der Messungen in Rechnung bringen muss. Ueber die Art und Weise, wie diese Berechnung der Fehler der Schraube zu führen ist, findet sich Ausführlicheres in Brünnow's Sphärischer Astronomie. 2. Auflage Seite 456.

31. Die Mikrometerschraube findet bei den Messinstrumenten eine vielseitige Anwendung. Sie wird bei den astronomischen Instrumenten sowohl beim sogenannten Fadenmikrometer als bei dem Heliometer

Digitized by Google

gebraucht. In neuerer Zeit wurde dieselbe besonders häufig zur Subdivision der Intervalle sowohl von Längen- als von Kreis-Theilungen verwendet, wo sie in Verbindung mit einem Mikroskope gebracht wird, welches man das mikrometrische Mikroskop oder auch Schraubenmikroskop nennt. Wir wollen diese letztere Anwendung der Mikrometerschraube an einem speciellen Beispiele etwas ausführlicher behandeln.

32. Das mikrometrische Mikroskop besteht aus einem Objective, einem Oculare und der mikrometrischen Vorrichtung, welch' letztere wir zu betrachten haben. In Figur 49 ist ein solches Mikroskop in der Seitenansicht dargestellt; Figur 48 zeigt die mikrometrische Vorrichtung von oben und Figur 47 dieselbe von unten gesehen.

Durch den Rahmen A, B, C geht ein Schieber $D\,D$, der sogenannte Schlitten, hindurch, an welchen sich die Mikrometerschraube d anlegt. Diese Schraube geht durch die Mutter M, die mit C fest verbunden ist. Wird nun die Schraube d, während der Rahmen A, B, C fest steht, vorwärts gedreht, so wird dadurch auch der Schlitten DD vorwärts geschoben. Der Schlitten DD ist aber bei E durchbrochen. Wird daselbst (bei E) ein Faden eingezogen, so lässt sich die Entfernung zweier Puncte messen, indem man den Faden vorerst auf den einen Punct einstellt, dann die Schraube so lange dreht, bis der Faden auch mit dem anderen Puncte zusammenfällt, und dabei die Anzahl Schraubenumgänge zählt, welche erforderlich waren, um den Faden vom ersten Punct zum zweiten zu verschieben. Ist die Höhe eines Schraubenumganges in einem beliebigen Maasse bekannt, so kann man damit die Entfernung der beiden Puncte in diesem Maasse angeben.

33. Der Schlitten muss nun aber auch wieder rückwärts geführt werden können. Zu diesem Zwecke legt sich an das Verbindungsstück F — den sogenannten Steg — eine cylindrische Erhöhung a der Schraube an, so dass der Schlitten, wenn die Schraube zurückgedreht wird, mitgehen muss. Ist zwischen der Erhöhung a und dem Stege F ein Zwischenraum, so entsteht ein todter Gang, d. h. die Schraube kann dann um eben so viel zurückgedreht werden als dieser Zwischenraum beträgt, ohne dass der Schlitten mitgeht. Dieser todte Gang lässt sich in der Praxis von Anfang an beseitigen; er wird jedoch bei längerem Gebrauche stets wiederkehren. Es ist deshalb keine zu grosse Sorgfalt auf eine vollständige Aufhebung des todten Ganges zu legen, zumal da die Wirkung desselben ganz unschädlich gemacht werden

Digitized by Google

kann, wenn man alle Einstellungen durch Vorwärtsdrehungen der Schraube vornimmt und dann, wenn man zu weit vorgerückt sein sollte, um eine den todten Gang übersteigende Grösse zurückgeht und von Neuem durch Vorwärtsdrehen einstellt.

34. Damit bei den Messungen auch die Unterabtheilungen eines Schraubenumganges berücksichtigt werden können, ist hinter dem Stege eine Trommel *G* angebracht, welche in 10 oder 100 Theile getheilt ist und deren Stellung mittelst eines Index abgelesen wird, der mit dem Stege selbst fest verbunden (und in Fig. 48 sichtbar) ist.

Um bei den Ablesungen das Zählen der einzelnen Schraubengänge zu vermeiden, bringt man mit dem Ablesungsmikroskope eine eigene Vorrichtung — den sogenannten Recher — in Verbindung. Dieser besteht aus einem Blättchen von ganz dünnem Bleche, welches an dem Schlitten befestigt und in der Mitte viereckig ausgeschnitten ist. An der einen Seite dieses Ausschnittes trägt das Blättchen eine Anzahl zackenartiger Vertiefungen, welche so eingerissen sind, dass die Spitzen oder auch die Einschnitte genau gleichweit von einander entfernt sind und die Entfernung der äussersten Spitzen oder Einschnitte einem oder mehreren Intervallen der abzulesenden Theilung entspricht. Beträgt nun z. B. die Entfernung zweier Striche einer Längentheilung 1 Centimeter und hat der Recher auf den entsprechenden Raum 10 Abtheilungen (11 Spitzen), so beträgt ein Theil des Rechers 1 Millimeter; ist die Trommel in 100 Intervalle getheilt, so kann man also damit noch 0,01 Millimeter ablesen.

35. Man richtet nämlich dabei gewöhnlich die Schraube so ein, dass die Höhe eines Ganges derselben genau einer Abtheilung am Recher gleichkommt.

In Bezug auf die Schraube selbst ist ferner zu bemerken, dass das Ende, welches an dem Schlitten anliegt, kugelförmig abgerundet werden muss, da eine Spitze beim Vorwärtsgehen zu rasch in das Metall des Schlittens eindringen würde.

Hinter den Schraubengängen *d* (Fig. 50) befindet sich die cylinderische Erhöhung *a*, die an dem Stege anliegt und den Schlitten beim Zurückdrehen der Schraube mitnimmt. Hinter dieser Erhöhung sitzt der Steg auf und daran schliesst sich ein Conus *b* an, auf welchem die Trommel drehbar aufsitzt; am Ende befindet sich eine Schraube *c* für die Aufnahme des randrirten Kopfes *T*. Zwischen diesen und die Trommel ist eine Ringfeder *H* gebracht, welche die Trommel gegen

Digitized by Google

den Conus b andrückt. Hinter dem Kopfe J ist noch eine kleine Mutter K als Versicherungsmutter aufgesetzt.

36. Die im Vorstehenden beschriebene Einrichtung des mikrometrischen Mikroskopes ist diejenige, welche von Lamont bei den Ablesungsmikroskopen seines magnetischen Theodoliten in Anwendung gebracht wurde.

Fast in jeder Werkstätte wird jedoch dem mikrometrischen Mikroskope eine etwas verschiedene Einrichtung gegeben. So zeigen Figg. 52, 53, 54 u. 55 zwei von der beschriebenen verschiedene Ausführungen der mikrometrischen Vorrichtung am Ablesungsmikroskope[1]), deren Einrichtung jedoch nach dem bereits Gesagten leicht verständlich ist. Bei Figg. 52 u. 53 geht die Mikrometerschraube seitlich durch den Schlitten hindurch; auf der anderen Seite desselben befindet sich ein Führstift mit einer Spiralfeder, welche den Zweck hat, eine ganz gleichmässige Bewegung zu erzeugen und den todten Gang aufzuheben. Bei der in Fig. 54 u. 55 dargestellten Einrichtung wird der Schlitten wieder in einem Rahmen geführt, in welchem gegen den Schlitten auf der einen Seite die einfach gebogene Feder, auf der anderen Seite die Spiralfeder zur Herstellung der gleichförmigen Bewegung und der Aufhebung des todten Ganges wirkt.

1) Hunaeus, die geometrischen Instrumente. pag. 8 ff.

Digitized by Google

Kleinere Mittheilungen.

Das Perspectometer von Mignerat.

(Hiezu Tafel VIII.)

Dieses auf Tafel VIII dargestellte Instrument hat den Zweck, das Zeichnen der Linearperspective sehr leicht und sicher zu bewerkstelligen.

In Fig. 1A ist AA ein in Millimeter getheiltes Lineal, wobei die Theilung von 0 bis 8 Centimeter nach links und ebenso viel nach rechts geht. BB ist eine Rinne im Lineal AA. C ist ein Schieber, der in der Rinne BB frei hin- und hergleiten kann. DD ist eine Schnur, welche den Schieber C in der Rinne BB hin- und herführt. E ist ein mit dem Lineale AA verbundener Zeiger, E' ein an dem Schieber C befestigter Zeiger. FF' ist ein mit AA verbundener Halbkreis, dessen Theilung von 0° bis 90° nach links und nach rechts geht. GG ist der Träger dieses Kreises, H ein frei um den Punct J drehbarer Zeiger. K ist eine durch G hindurchgehende und senkrecht darauf befestigte Messingröhre, in welche an der Vorderseite der Eisendraht LL so eingelassen ist, dass er einen zum Lineale AA parallelen Durchmesser der Röhre bildet. M ist eine kleine Marke in der Mitte des Drahtes LL. Ein gleicher Draht ist am hinteren Ende der Röhre K einglassen. N ist ein drehbarer Knopf, dessen Axe durch die Platte des Instrumentes hindurchgeht und mit welchem an der Rückseite (Fig. 1B) die Rolle N verbunden ist. O ist ein Messingstück, in welches der hölzerne Halter (Fig. 2) eingeschraubt werden kann. Bei PP sind Löcher angebracht, um die Enden der Schnur AEC (Fig. 3) aufzunehmen.

In Fig. 1B, welche die Rückseite des Apparates darstellt, sind N, n und n' Rollen, um welche die Schnur, die den Schieber führt, herumgeschlungen ist. Fig. 4 stellt ein Lineal dar, welches dazu dient, die mit dem Perspectometer erhaltenen Maasse auf das Papier überzutragen.

Digitized by Google

Die Figuren 5A und B geben eine andere Form des Perspectometers mit drei Maassstäben und 3 Schiebern; bei der durch Fig. 6A u. B dargestellten Form sind sogar sechs Maassstäbe mit Schiebern angebracht.

Mittelst des Perspectometers lassen sich nun die folgenden Aufgaben lösen:

1) Es sollen die Puncte bestimmt werden, durch welche die Linie des wahren Horizontes geht. Man nimmt zu diesem Behufe das Instrument bei der Handhabe, stellt dann seine Ebene vertical, (was statt hat, wenn der Zeiger H frei am Halbkreis herabhängt und auf O zeigt) und sieht mit einem Auge durch die Röhre K so, dass die beiden Diameter LL sich decken, so wird der verlängerte Visionsradius diejenigen Puncte der zu zeichnenden Gegenstände treffen, welche sich in der horizontalen Richtung der Diameter LL befinden und also den Horizont bestimmen.

2) Es soll der Hauptfluchtpunct bestimmt werden. Man verfährt wie beim vorhergehenden Probleme; es giebt dann der Durchschnitt der kleinen Marken MM in Bezug auf denselben Visionsradius am Horizonte den Hauptfluchtpunct an.

3) Es soll die perspectivische Länge einer beliebigen Geraden gefunden werden. Man nimmt den Knoten A (Fig. 3) zwischen die Zähne und die Handhabe des Instrumentes in die linke Hand. Sodann hält man mittelst des Zeigers K das Instrument in einer Verticalebene und in einem solchen Abstande von den Augen, dass die Schnüre AB, AC (Fig. 3) gespannt sind. Dabei lehnt man den Kopf stets an den gleichen Puncten (einen Stuhl, einen Baum, eine Säule) an. Hierauf nimmt man als Ausgangspunct den festen Zeiger E des Lineals AA (Fig. 1A) und hält das Instrument so, dass dieser Zeiger mit dem Visionsradius zusammenfällt, der das eine Ende der zu bestimmenden Linie trifft; sodann lässt man mittelst des Knopfes N mit der rechten Hand den Schieber C in der Rinne BB fortgleiten, bis sein Zeiger mit dem Visionsradius nach dem andern Ende der zu bestimmenden Linie zusammenfällt. Die zwischen beiden Zeigern abgelesene Zahl gibt in Millimetern die perspectivische Länge der bestimmten Linie.

In gleicher Weise verfährt man bei einer verticalen oder schiefen Linie.

Hat man die Form Fig. 5A und B oder Fig. 6A und B des Instrumentes, so kann man für verticale und schiefe Linien diejenigen

Digitized by Google

Maassstäbe nehmen, welche diese Lage haben; es werden dadurch die Operationen etwas genauer, weil man die Lage des Instrumentes nicht mehr zu verändern nöthig hat.

4) Man soll den Winkel bestimmen, den eine schiefe Linie in der Perspective mit der Verticalen einschliesst. Vorerst bringt man den Kopf und das Instrument in die beim vorigen Probleme angegebene Lage, neigt dann das Instrument, bis die untere Kante des Maassstabes *AA* (Fig. 1A) in der schiefen Lage der Linie sich befindet, deren Neigung man kennen will; hierauf liest man die Zahl ab, wo sich der Zeiger am Halbkreise einstellt und hat damit den gesuchten Winkel.

5) Es sollen die Parallelen bestimmt werden, zwischen welchen die Bögen eines Kreises oder einer beliebigen Curve eingeschlossen sind; man soll mit anderen Worten die Tiefe dieser Bögen oder Curven bestimmen. Hat man wieder den Kopf und das Instrument wie bei 3 und 4 eingestellt, so bringt man den festen Zeiger in den Visionsradius nach einem der Endpuncte des Bogens oder der Curven hin und verschiebt den Zeiger am Schieber, bis er in der Richtung der idealen Tangente des Bogens oder der Curve liegt. Der Abstand beider Zeiger giebt die gesuchte Tiefe an.

Hat man eine der Formen Fig. 5 und 6 des Instrumentes, so kann man die untere Kante des Maassstabes (Fig. 5) in die Richtung der beiden Endpuncte des Bogens oder der Curve bringen und den Zeiger am Schieber eines der seitlichen Maassstäbe in die Richtung der idealen Tangente bringen[1]).

Das Meyerstein'sche Prismensphärometer.

(Hiezu Tafel IV, Fig. 3—6).

Herr Meyerstein theilt in Poggendorff's Annalen Bd. 126 p. 589 zwei neue Instrumente mit, von denen das eine die genaue Prüfung von Planflächen, das andere die Prüfung von Planflächen

---

1) Die physikalische Anstalt des Herausgebers besorgt die beschriebenen Perspectometer, und zwar den einfachen Apparat mit einem Maassstabe um 6 fl., das Instrument mit drei Schiebern um 8 fl., das Lineal, Fig. 4, kostet besonders 3 fl.

Digitized by Google

und Kugelflächen ermöglicht. Beide Instrumente beruhen auf dem gleichen Principe, nämlich der totalen Reflexion in einem rechtwinkligen, gleichschenkligen Flintglasprisma. Dieses Prisma ist, wie dies Fig. 3 u. 4 Taf. IV zeigt, zwischen zwei Spitzen drehbar aufgehängt; es liegt mit der Hypothenusenfläche auf einem hochpolirten Röllchen auf, das mit einem Stifte verbunden ist, welcher genau cylindrisch abgedreht und an seinem unteren Ende kugelförmig abgerundet ist. Dieser Stift geht durch die Bodenplatte des auf drei Fussschrauben ruhenden Instrumentes beweglich hindurch und hat eine solche Länge, dass wenn die drei Spitzen der Fussschrauben auf einer vollständig planen Fläche stehen, die Hypothenusenfläche des Prismas eine genau horizontale Lage hat. Dem Prisma gegenüber stehen zwei Fernrohre, von denen das eine blos ein Objectiv und ein Fadenkreuz trägt, das andere ein vollständiges Fernrohr mit einem Micrometer ist.

Wird nun das Instrument auf eine Fläche aufgesetzt, die nicht mehr vollständig eben ist, so wird die Hypothenusenfläche aus der horizontalen Lage herausgedreht; die Grösse der Drehung kann mit dem Micrometer bestimmt werden.

Da bei diesem Instrumente die Fernrohre in die Wände b und b' fest eingelassen sind, so lässt sich blos eine geringe Drehung des Prismas und also auch eine geringe Abweichung von der Ebene bestimmen.

Meyerstein hat desshalb ein zweites Instrument construirt, bei welchen die Fernrohre um die das Prisma tragenden Spitzen als Mittelpunct drehbar sind (Figg. 5 u. 6); die Grösse der Drehung kann an einem getheilten Kreise KK mittelst der Alhidede A abgelesen werden. Zur Erhöhung der Empfindlichkeit ruht bei diesem Instrumente das Prisma nicht direct auf dem mittleren Stifte auf, sondern es ist eine Verbindung von Hebeln angebracht, wie dies Fig. 5 zeigt. Damit das Instrument für verschieden grosse Flächen angewendet werden kann, lässt sich der Abstand der Fussschrauben ändern.

Um noch die Angaben der Instrumente in einem bestimmten Maasse zu erhalten, hat Meyerstein Prismen hergestellt, deren Flächen sehr eben waren und deren Winkel mit seinem Spectrometer ganz genau bestimmt wurden, so dass er daraus die Grösse der Drehung für bestimmte Abstände erhalten konnte.

Digitized by Google

Actinograph und Ozonograph.

Von

Pocy.

(Les Mondes 1865. IX, 17 livr.)

Dieser doppelte Apparat, zugleich Ozonograph und Actinograph, dient dazu, von halber Stunde zu halber Stunde den Ozongehalt der Luft und die chemische Wirkung des umgebenden Lichtes zu registriren.

Eine Pendeluhr setzt eine mit dem Uhrwerk in Verbindung stehende, horizontale Axe in Bewegung. Diese Axe trägt an ihrem hinteren Ende eine excentrische Schnecke mit zwei Zähnen, mit welcher eine Schraube in Verbindung steht, die an einer Leitstange oder an dem Arme eines beweglichen, mit einem Sperrkegel endigenden Hebels befestigt ist, welchen von unten eine Feder in beständiger Spannung hält. Der ganze Mechanismus befindet sich an der hinteren Seite der Pendeluhr, die in einem Gehäuse von 34 Centimeter Höhe, 27 Centimeter Breite angebracht ist und von vier, 23 Centimeter hohen Säulen getragen wird. In einer zweiten Abtheilung des Gehäuses an der entgegengesetzten Seite trägt eine verticale Axe, die mit einem 24zähnigen Rade versehen ist, in welches sich der Sperrkegel des Hebels einlegt, zwei Cylinder von $33^1/_2$ Centimeter Umfang, von denen der eine 5 Centimeter Höhe, der andere 13 Centimeter Höhe hat. Der untere Cylinder gehört zum Ozonographen, der obere zum Actinographen.

Der Apparat functionirt nun in folgender Weise: die horizontale Axe am Pendel legt in einer Stunde gerade eine Umdrehung zurück; die Schnecke an ihrem Ende entfernt sanft zur Linken den Hebel und sperrt so die Feder eine halbe Stunde lang, an deren Ende die Schraube am Hebel aus dem Kopfe der Schnecke herausgeht, in den leeren Raum am unteren Theile fällt und den Sperrkegel, der sich am Ende des Hebels befindet, wegschiebt, so dass dieser einen Zahn am Rande der verticalen Axe überspringt, wodurch die beiden Cylinder rasch um $\frac{1}{24}$tel ihres Umkreises verstellt werden.

Man begreift so, dass, wenn man auf den unteren Cylinder ein Blatt ozonoscopischen Papieres aufrollt, man bei Tag und Nacht von halber zu halber Stunde eine Reihe vertical aufgeprägter Streifen haben wird, die $\frac{1}{24}$tel des Umfanges des Cylinders entsprechen, mit einem Worte von der Dimension der reagirenden Streifen, welche man

Digitized by Google

eben angewendet hat. Gleichzeitig wird man auf dem oberen Cylinder eine andere Reihe von actinographischen Einwirkungen erhalten mittelst eines Verfahrens, das später beschrieben werden soll.

Damit hiebei das Ozon blos auf den 24ten Theil des Umfanges des Cylinders einwirke, und so die übrigen Theile des ozonoscopischen Papieres nicht alterirt werden, ist der Cylinder in einen zweiten Metallcylinder eingeschlossen, welchen man wegnehmen kann, um das Papier aufzurollen, und in den eine Oeffnung eingelassen ist, durch welche die Luft nur ein 24tel des Papiers ozonisirt Damit die Luft nicht weiter eindringen kann, sind seine Ränder mit einem Streifen von starkem Papier versehen, welches auf das ozonoscopische Blatt leicht drückt, d. h. ohne einen merklichen Widerstand auf den Mechanismus des Uhrwerkes auszuüben.

Es muss auch noch ein Luftstrom erzeugt werden, damit das Papier freier imprägnirt wird. Zu diesem Behufe ist in die untere Platte des Apparates eine weite Oeffnung eingeschnitten, und ebenso auch in die beiden Seitenstücke der oberen Platte, ferner ist im Inneren vom hinteren Theile der unteren Oeffnung bis zum Niveau des Cylinders ein Metallschirm angebracht, welcher den Luftstrom zwingt, am Papierstreifen des Cylinders vorbeizustreichen und durch die oberen Oeffnungen zu entweichen. Man könnte einen noch intensiveren aufsteigenden Strom erzeugen, wenn man auf die eine der oberen Oeffnungen, während die andere geschlossen ist, ein 2 Meter langes Rohr aufsetzt, in deren Mitte man ein Nachtlämpchen anbringt, um einen Zug zu erzeugen.

Bisher wurde angegeben, dass dieser Apparat dazu dient, von halber Stunde zu halber Stunde die Registrirung auszuführen; man kann ihn jedoch auch so einrichten, dass er von Stunde zu Stunde registrirt. Es reicht dazu hin, an die Stelle der Schnecke mit zwei Zähnen eine solche mit einem Zahne zu bringen; dann lässt der Sperrkegel zwei Zähne des Rades zugleich überspringen. Man müsste dann den Papierstreifen alle 12 Stunden erneuern; man kann jedoch diesen Missstand durch einen kleinen Kunstgriff vermeiden, indem man die Schraube in die Mitte der Tiefe des Zahnes an der Schnecke versetzt, wodurch dann der Sperrkegel blos einen Zahn des Rades überspringen lässt, wenn jeder ein 24tel des Cylinders representirt. So erhält man mit diesem Registrirapparate die Einwirkungen des Ozons und der chemischen Action des Lichtes sowohl von halber zu halber Stunde,

Digitized by Google

wenn man den Streifen alle zwölf Stunden erneuert, als auch von Stunde zu Stunde mit einem einzigen Streifen für die 24 Stunden des Tages. Man könnte auch noch mit einer Schnecke mit vier Zähnen Notirungen von viertel zu viertel Stunde erhalten. Was auch immer die Ursache des atmosphärischen Ozons sein mag, so erhalten wir doch mit unserem Apparate fortlaufende Angaben, die uns mit der Zeit in den Stand setzen können, dieses geheimnissvolle Agens zu enträthseln.

Darlot's photographisches Universalobjectiv.

Hr. Darlot berichtet im Bulletin de la Société française de photographie über dieses Objectiv, welches aus einer sinnreich geordneten Reihe von Linsen besteht, die an dieselbe Fassung geschraubt werden können und bald einzeln, bald in ihren verschiedenen Combinationen, eine Reihe von 8 bis 10 Focaldistanzen zwischen 0,38 Meter bis 0,08 und 0,06 Meter Länge geben. Der eingeschlossene Bild-Winkel variirt, je nach den Combinationen, je nach den Diaphragmen, je nach der Länge der reproducirenden Objecte von 50 bis 80 Grad. Hr. Davanne zeigt im Anschlusse an diesen Bericht einige mit einem solchen Apparate erhaltene Bilder vor. Das grösste, das 0,33 Meter Durchmesser hatte, wurde mit einem einfachen Objective von 0,25 Meter Brennweite erhalten, die Expositionszeit mit feuchtem Collodion beträgt bei Regenwetter mit einem Diaphragma von 9 Millimeter eine Minute; die Deutlichkeit ist die gleiche am Rande wie in der Mitte, nur sind die geraden Linien etwas verzogen. Das zweite vorgezeigte Bild war mit einer Combination aus zwei ähnlichen Objectiven erhalten, wovon jedes 0,25 Meter Brennweite hatte; das Ganze hatte 0,125 Meter Brennweite. Mit dem so combinirten Objective waren die Verzerrungen aufgehoben, die Linien blieben vollständig gerade.

Digitized by Google

Dutirou's Spectro-Refractometer.

Dieses Instrument dient, wie ein gewöhnliches Spectroscop, zu Versuchen über die Spectralanalyse. Allein es ist auch, und das war seine erste Bestimmung, der beiden folgenden wichtigen Anwendungen fähig. Es gestattet nämlich

1) bei einer künstlichen Lichtquelle einen vollkommenen bestimmten Strahl zu erhalten, der die gleiche Brechbarkeit besitzt wie irgend ein Strahl des Sonnenspectrums;
2) kann man mittelst dieses Strahls und folglich auch ohne die Sonne und mit dem Lichte einer Lampe die Brechungsindices von Körpern für die verschiedenen Sonnenstrahlen bestimmen.

Die Anwendung des Apparates unterscheidet sich in einigen Puncten von der des gewöhnlichen Spectroscopes. Erstens ist das Fernrohr vom Prisma durch eine lange feste Röhre getrennt, die den Zweck hat, das austretende Strahlenbündel aufzufangen. Zweitens kann man am Ende der Röhre, in der Nähe des Fernrohres einen Schirm anbringen, der mit einer verticalen Spalte versehen ist. Dieser Schirm, der mittelst einer Schraube senkrecht gegen das farbige Strahlenbündel verstellbar ist, gestattet der Farbe, die man gerade will, den Durchgang, indem er zugleich alle andern abhält. Das Fernrohr dreht sich wie beim gewöhnlichen Spectroscope um die Axe des Prismas und kann mit einem Babinet'schen Goniometer vertauscht werden.

Um die für dieses Instrument erforderliche Graduirung zu erhalten, lässt man auf das Prisma ein Bündel Sonnenstrahlen auffallen, richtet sodann das Fernrohr auf eine Linie des Sonnenspectrums, z. B. die Linie *D*. Hierauf stellt man den Schirm mittelst einer Schraubenmutter fest und bringt die Meridianlinie des Spaltes (der durch die ihn durchlaufenden farbigen Strahlen erleuchtet ist) mit dem verticalen Faden des Fernrohres zur Coincidenz; die Linie *D* wird dann mitten durch den Spalt gehen. Bringt man endlich an die Stelle des Lichtes der Sonne irgend eine künstliche Lichtquelle, so wird der farbige Strahl, welcher durch den Spalt des Schirmes hindurchgeht, die gleiche Brechbarkeit haben wie die Linie *D* des Sonnenspectrums. Ein markirter Punct, der in der Schraubenmutter und auf einer an der Röhre befestigten Platte angebracht ist, wird, so oft man will, die richtige Stellung des Schirmes wieder auffinden lassen.

Wenn man die gleiche Operation für die anderen Strahlen des Sonnenspectrums ausführt, so gestattet dieser Apparat mit dem Lichte

Digitized by Google

einer Lampe einen vollkommen bestimmten Strahl, d. h. einen Strahl von der gleichen Brechbarkeit wie ein bestimmter Sonnenstrahl zu erhalten; er realisirt so eine längst bekannte Idee Babinet's.

Will man die Brechungsindices messen, so entfernt man das Fernrohr aus seinen Lagern und bringt an seine Stelle das Babinet'sche Goniometer, welches man dreht, bis der aus dem Spalte des Schirmes austretende farbige Strahl durch den Spalt des Collimators am Goniometer geht; die Ablenkung, welche dieser Strahl beim Durchgang durch ein auf der Platte des Goniometers befindliches Prisma erfährt, wird offenbar die gleiche wie die sein, welche der Sonnenstrahl erfahren würde, der diesen Strahl repräsentirt. Man wird also auch mit dem Lichte einer Lampe die Brechungsindices von Körpern für die verschiedenen Linien des Sonnenspectrums gerade so genau bestimmen können, als wenn man diese Linien selbst beobachtete. Man kann übrigens mit dem Instrument die Brechungsindices der Linie des Sonnenspectrums auch direct bestimmen. Das angegebene Verfahren wird mit besonderem Vortheile auf Flüssigkeiten angewendet, deren Brechungsindices bekanntlich sehr bedeutend mit der Temperatur variiren. Die Flüssigkeit wird nämlich durch ein feines Bündel künstlichen Lichtes weit weniger erwärmt als durch ein die ganze Prismenfläche bedeckendes Strahlen-Bündel des Sonnenlichtes.

Es wird gut sein, vom Auge und dem auf dem Goniometer befindlichen Prisma die directen Strahlen der Lampe fernzuhalten.

Will man endlich einen nahezu einfachen Strahl erhalten, so muss man die Prismenfläche des Apparates mit einem Schirme bedecken, der einen schmalen Spalt besitzt und das weisse Strahlenbündel durchlässt. (Les Mondes 1866. I. 16. livraison.)

Bibliographische Notiz.

Bertin, Nouveaux opuscules de Physique. Strasbourg 1865. 4°.

Diese Schrift enthält unter anderem die Beschreibung eines automatischen Disjunctors, eines neuen Voltameters, eines Commutators, eines Ampère'schen Gestelles, eines Apparates für die electromagnetische Rotation von Flüssigkeiten, sowie eines Apparates für die electromagnetische Rotation von Flüssigkeiten in hohlen Magneten.

Digitized by Google

Regnault's Apparate zur Untersuchung der Compressibilität, Ausdehnung, specifischen Wärme u. s. w. in der ihnen von J. Silbermann gegebenen Einrichtung.

Mitgetheilt von

Dr. Jos. Krist.

Seitdem die Naturwissenschaften allgemeineren Eingang in die verschiedenen Schulen gefunden haben, hat die Methode des naturwissenschaftlichen Unterrichtes bedeutende Fortschritte gemacht. Bei den darauf abzielenden Bestrebungen liess man sich stets von der Ueberzeugung leiten, dass jener Weg, welchen die Naturforscher bei ihren Untersuchungen als den allein richtigen verfolgen, d. i. der Weg der Erfahrung auch beim Unterrichte in den Naturwissenschaften mit möglichster Strenge eingehalten werden müsse. Eine natürliche Folge davon war, dass man zugleich jenen Lehrapparat herzustellen sucht, welcher für den auf Anschauung basirten Unterricht nothwendig ist. Wie viel nun auch in dieser letzteren Beziehung geleistet worden, so bleibt doch, was Zweckmässigkeit und Wolfeilheit der naturwissenschaftlichen Lehrmittel betrifft, noch vieles zu wünschen übrig. Dieses gilt insbesondere von den physikalischen Lehrmitteln.

Es ist selbstverständlich, dass man sich bei Anlage eines physikalischen Schulcabinets zunächst von den besonderen Unterrichtszwecken, für welche es bestimmt ist, leiten lässt. Wo es auf Massenunterricht ankommt, wie das an den niederen und mittleren Schulen sowie bei den in neuerer Zeit so beliebt gewordenen populären Vorlesungen der Fall ist, müssen die Apparate Demonstrationen gestatten, welche von vielen Personen gleichzeitig wahrgenommen werden können. Stets aber wird die grösste Einfachheit in der Anordnung der Apparate anzustreben sein, nicht nur damit das ihrer Einrichtung zu Grunde liegende Princip klar hervortrete, sondern damit auch jene Handsamkeit erzielt werde, durch welche eine sichere und nette Aus-

Digitized by Google

führung der Versuche ermöglicht wird. Es ist gewiss bei Schulversuchen äusserst unangenehm, wenn die Zerlegung und Zusammenstellung eines Apparates viel Mühe und Zeit in Anspruch nimmt. Eine einfache Anwendung der physikalischen Apparate ist desshalb sehr wünschenswerth, weil es wenigstens auf einer gewissen Unterrichtsstufe nothwendig ist, die Schüler Uebungen in physikalischen Messungen vornehmen zu lassen. Jene Apparate speciell, welche bei den Versuchen hohen Drücken ausgesetzt werden, sollen die möglichste Solidität besitzen.

Zu diesen Forderungen tritt noch die weitere hinzu, dass alle Apparate die nöthige Genauigkeit der Versuchsresultate gewähren. In dieser Hinsicht soll der Constructeur nicht allein das Bedürfniss des Schulunterrichtes, sondern auch das Streben des Lehrers, die Versuche anderer Forscher zu controliren oder eigene selbstständige Untersuchungen anzustellen, zu befriedigen trachten und daher bei allen Apparaten, insbesondere aber bei allen messenden Instrumenten die höchste Präcision zu erreichen suchen. Man wird dagegen vielleicht die Einwendung erheben, dass der letzten Anforderung nur bei Erhöhung der Herstellungskosten genügt werden könne. Es mag das richtig sein, ich bin sogar der Ansicht, dass die ärmste Schule in Bezug auf Solidität und Präcision ihrer physikalischen Apparate keine Auslagen scheuen sollte. Dafür soll man sich in jeder anderen Hinsicht bei Anfertigung physikalischer Lehrmittel von den Gesetzen der in der Natur waltenden Oekonomie leiten lassen. Schon durch Weglassung alles unnöthigen Zierraths wie man ihn bei älteren Instrumenten manchmal selbst auf Kosten der Genauigkeit und Solidität angebracht findet, durch grössere Sparsamkeit in Verwendung von schön gedrehtem und polirtem Messing u. dergl. könnte für die Verwolfeilerung der Apparate manches geschehen, es wird aber doch hauptsächlich darauf ankommen, den gesammten für den physikalischen Schulunterricht bestimmten Lehrapparat nach einem einheitlichen Plane anzufertigen, dessen Grundgedanke sich in folgenden Satz zusammenfassen lässt. Anstatt die Schulkabinete mit eben so vielen Apparaten versehen zu wollen, als verschiedene Versuche im Laufe eines Cursus gemacht werden, soll man die einer Reihe von Versuchen zu Grunde liegenden Principien aufsuchen und denselben gemäss jene Bestandtheile, welche den entsprechenden Apparaten gemeinschaftlich sind, in einer solchen Weise ausführen, dass man sie mit Leichtigkeit unter einander verbinden und

Digitized by Google

so einen und denselben Theil zur Herstellung verschiedener Apparate benutzen kann.

Es ist gar nicht zu verkennen, dass die Befriedigung der im Vorhergehenden gestellten Forderungen ihre Schwierigkeiten hat. Um so verdienstlicher ist es daher, wenn Männer sich ernstlich mit der Lösung der Aufgabe beschäftigen, wie dies Herr Joseph Silbermann[1]), Präparateur des Herrn Professors Regnault am Collège de France in Paris thut. In der Absicht, den Plan zur Einrichtung eines selbst für Hochschulen ausreichenden physikalischen Cabinets und Laboratoriums zu unterwerfen, hat er zunächst eine Reihe von Apparaten ausführen lassen, welche bis jetzt in Schulkabineten nur selten zu treffen sind, obgleich sie für den physikalischen Unterricht technischer Schulen unumgänglich nothwendig sind. Diese Apparate beziehen sich auf die klassischen Untersuchungen, welche Herr Regnault über die Ausdehnung, Compressibilität, Elasticität, specifische Wärme der Körper ausgeführt hat. Die Leser dieses Repertoriums werden desshalb Herrn Silbermann gewiss ebenso wie ich Dank dafür wissen, dass er die folgende Beschreibung dieser Apparate ermöglicht hat, indem er die Zeichnungen mit der uneigennützigsten Bereitwilligkeit zur Verfügung stellte.

I.

Bei den Untersuchungen des Herrn Regnault über die Ausdehnung, Compressibilität u. s. w. spielen Druck und Temperatur die Hauptrolle. Man braucht für dieselben:

1) Eine Art künstlicher Atmosphäre, durch welche die erforderlichen Pressungen erzeugt werden.
2) Einen Recipienten, welcher die hinreichende Resistenz gegen hohe Drucke und Temperaturen besitzt;
3) Eine Verdünnungs- und Verdichtungsluftpumpe;
4) Die zur Messung der Drucke dienenden Apparate;
5) Thermometer;
6) Einen Condensator.

Zur Erzeugung der künstlichen Atmosphäre verwendet man einen erforderlichen Falls auch mehrere cylindrische Recipienten *AA'* Taf. X u. ff. aus Schmiedeeisen ähnlich denjenigen, welche bei der

1) Bruder des verstorbenen H. Silbermann, Erfinders des bekannten Heliostaten.

Digitized by Google

Destillation des Quecksilbers benutzt werden. Der Inhalt eines solchen Cylinders beträgt 3—4 Liter und die Resistenz ist bis auf 45 Atmosphären geprüft. An den Grundflächen sind mit Hahnen versehene Messingröhren angebracht, um die Verbindung mit der Luftpumpe, dem Manometer u. s. w. herstellen zu können. Die Anwendung einer solchen künstlichen Atmosphäre gewährt besonders, wenn der Luftbehälter in einem Wasserbade sich befindet, den grossen Vortheil, dass die Drucke constant bleiben und, mit grosser Präcision gemessen werden können, was bei der Compression mittels Wasser und einer Druckpumpe kaum erreichbar ist. Durch allmähliges Oeffnen der Hähne lassen sich ferner die Pressungen stufenweise verändern, welcher Umstand namentlich bei Versuchen über die Compressibilität von Flüssigkeiten zu beachten ist, weil eine plötzliche Druckänderung nicht selten eine bleibende Aenderung der Capacität des Piëzometers zur Folge hat.

Aus ähnlichen Cylindern, wie das Reservoir der künstlichen Atmosphäre sind auch der Condensator und der Recipient, in welchem Körper hohen Drucken oder Temperaturen ausgesetzt werden sollen, gebildet. Der Condensator *C* ist, wie man aus Taf. XXI Fig. 30 ersieht, mit einem graduirten Wasserstandglas versehen, um den Gang der Destillation leichter verfolgen zu können; ausserdem hat er die nöthigen Verbindungsröhren, so dass er auch als Hilfsreservoir für die künstliche Atmosphäre dienen kann. Der Recipient, welcher für die Aufnahme der hohen Drucke oder hohen Temperaturen bestimmt ist, hat einen ebenen, wol polirten, umgebogenen Rand, auf welchen die bei den verschiedenen Versuchen zur Anwendung kommenden Deckel auf schnelle und sichere Weise luftdicht angesetzt werden können. Zu diesem Zwecke sind, wie man aus Fig. 30 Taf. XXI ersieht, Deckel und Rand des Recipienten konisch zugeschnitten und werden nachdem man zwischen dieselben einen gefetteten Lederring, oder bei hohen Temperaturen einen mit Minium überzogenen Bleiring gelegt hat, mittelst einer Hohlkehlzwinge fest zusammengepresst. Diese aus Eisen bestehende Zwinge ist aus zwei Theilen zusammengesetzt, welche um die Axe *c* Fig. 1 Taf. IX eines Charniers drehbar und auf der inneren Seite ausgehöhlt sind in Form einer Hohlkehle, die von zwei mit ihren Grundflächen aneinanderstossenden Kegelflächen gebildet wird. Der Winkel, unter welchem diese Kegelflächen zusammentreffen, ist etwas spitzer als der Kantenwinkel, welcher entsteht, wenn der Deckel auf den Recipienten gelegt wird. Mit dem einen Theile der Zwinge ist eine um die Axe *c'*

Digitized by Google

drehbare Schlinge *ab* verbunden, welche aus zwei Eisenplatten besteht, zwischen denen ein mit dem Handgriff *g* versehener eiserner Cylinder *m* um die excentrisch angebrachte Axe *c''* gedreht werden kann. Wird die Zwinge um die zu verbindenden Stücke gelegt und der Theil *r* zwischen die Schlinge *ab* gebracht, so kann man die Handhabe *g* in der Richtung des Pfeiles *x* drehend einen sehr starken Druck ausüben, der sich auf die sich berührenden Flächen des Deckels und Recipientenrandes und daher auch auf die Zwischenlage gleichmässig vertheilt und eine hermetische Schliessung erzeugt. Diese Einrichtung hat noch den grossen Vortheil, dass Schliessung und Oeffnung so zu sagen in einem Augenblicke ausgeführt werden können.

Die Luftpumpe, welche Herr Silbermann anwendet, wurde von ihm bereits 1856 der Pariser Akademie vorgelegt[1]). Dieselbe gestattet nicht nur eine Verdünnung bis auf 4^{mm}, sondern kann auch zur Verdichtung und zur Ueberführung eines Gases aus einem Behälter in einen anderen benutzt werden; sie unterscheidet sich daher von jener Luftpumpe, welche Herr Silbermann 1842 construirte[2]) und welche sich wegen ihrer Zweckmässigkeit sehr schnell Eingang in die Laboratorien verschaffte. Die in Rede stehende neue Luftpumpe besteht aus einem verticalen Messingcylinder Fig. 2 u. 3 Taf. IX, in welchem ein massiver Kolben sich auf- und abbewegen lässt. Der Kolben ist aus ledernen Scheiben gebildet, die zwischen zwei Messingplatten fest zusammengepresst sind. Am Boden des Pumpenstiefels befinden sich zwei Kegelventile, wovon das eine als Saug- das andere als Druckventil wirkt. Jedes dieser Ventile ist von einem kleinen Gehäuse umgeben, das auf einen verticalen Kanal, der die Büchse des darunter befindlichen Hahnes *H* durchschneidet, aufgeschraubt ist.

Der Hahn *H* hat ein ganz eigenthümliches System von Bohrungen, welche eben die mannigfaltige Verwendung der Pumpe ermöglichen. Die Axe des Hahnes liegt parallel jener Geraden, welche die Mittelpunkte der beiden Ventile verbindet, in der Ebene der vorhin erwähnten zwei Kanäle. Zunächst sind zwei diametrale Bohrungen Fig. 4 Taf. IX zu unterscheiden. Dieselben bilden einerseits die Fortsetzung der beiden verticalen Ventilkanäle Fig. 3, während sich andererseits an sie zwei Kanäle anschliessen, welche im unteren Theile der Hahnbüchse an-

1) Comptes rendus. T. XLIII.
2) Müller's Lehrbuch der Physik. 6. Auflage. B. I. p. 208.

Digitized by Google

fänglich in verticaler Richtung parallel neben einander, sodann aber horizontal und parallel nach entgegengesetzten Seiten verlaufen, um mit den Röhren *a*, *b* Fig. 1 in Verbindung zu treten, wie dies der in der Richtung *AB* Fig. 3 geführte Schnitt Fig. 5 ersichtlich macht. Damit die Röhren *a*, *b* hermetisch angefügt werden können, endigen sie je in einen Kegel Fig. 5, welcher durch die Schraubenmutter *m*, *m* in einen ähnlichen in der Tubulatur *f* befindlichen Hohlkegel gepresst wird. Nebst den zwei parallelen Bohrungen giebt es noch zwei andere, schräg zur Hahnenaxe, welche durch die Fig. 6 u. 7 dargestellt sind. Aus diesen Figuren, den Hahn als durchsichtig gedacht, ist zu ersehen, dass diese Bohrungen in der Form eines X gekreuzt aber etwa in der Mitte derart nach entgegengesetzter Richtung gebogen sind, dass sie einander nicht begegnen. Sie liegen in einer Ebene, welche durch die Hahnenaxe geht, und mit jener der früher erwähnten Bohrungen einen Winkel von 60° bildet. Dieselben dienen zur Umkehrung der zwischen den Gasbehältern und den Ventilen hergestellten Communication. Endlich befinden sich in einer durch die Hahnenaxe gehenden und gegen die vorige Ebene abermals um 60° geneigten Ebene zwei zur Hahnenaxe parallele Bohrungen Fig. 8, von denen ein Theil die Form von umgekehrten Parenthesen ⌶ hat. Dieselben münden an dem der Handhabe entgegengesetzten Ende des Hahnes aus und können dort mit schraubenförmigen Stopfen *s*, *s'* Fig. 8 verschlossen werden.

Die Hahnenstellung, wie sie Fig. 3 zeigt, kann als die normale angesehen werden. Steht z. B. die Röhre *b* Fig. 5 mit einem Recipienten in Verbindung, so kann in demselben Verdünnung erzeugt werden. Würde dagegen *a* mit einem Recipienten, *b* mit der Atmosphäre communiciren, so kann in jenem Luft comprimirt werden. Ebenso ersieht man, wie es bei dieser Stellung möglich wird, Gas aus einem links befindlichen Behälter in einen anderen mit *a* verbundenen überzuführen. Wollte man umgekehrt einen Gasstrom in der Richtung von *a* nach *b* leiten, so brauchte man nur den Hahn in die Fig. 8 abgebildete Position anzubringen. Soll z. B. das Gleichgewicht der Pressungen in zwei, resp. mit *a* u. *b* verbundenen Gasbehältern hergestellt werden, so hat man blos den Hahn in die Lage, wie Fig. 10 Taf. IX sie zeigt, zu drehen. Bei dieser Stellung werden durch die untere Paranthesenbohrung die beiden Röhren *a* u. *b* und somit auch die Recipienten in Communication gesetzt, während durch die obere Bohrung die beiden Ventilkanäle verbunden werden. Man ersieht leicht, dass diese Stellung auch benutzt

Digitized by Google

werden kann, um z. B. in einem Recipienten das Gleichgewicht mit der atmosphärischen Luft herbeizuführen. Fig. 10 zeigt ferner wie bei der Parenthesenstellung des Hahnes auch das im Stiefel aufgesogene Gas in einen Recipienten geleitet werden kann; zu diesem Zwecke wird statt des Stopfen *s* Fig. 8 ein kurzes Messingrohr angeschraubt, mit dem das Gasableitungsrohr verbunden wird.

Ausserdem lassen sich noch manche andere Combinationen herstellen. Um dabei den Hahn stets bequem fassen und drehen zu können, hat seine Handhabe die Form eines sechseckigen Sternes, dessen Ecken den drei Ebenen entsprechen, in welchen die Oeffnungen des Hahnes liegen. In jeder Ecke befindet sich je eines der Zeichen [], X, =, um die entsprechende Hahnenstellung anzuzeigen. Die Figur 2 zeigt den Hahn in der X Position. Auf welches Zeichen der Hahn übrigens eingestellt sein mag, man hat immer nur um 60° entweder nach rechts oder links zu drehen, um eine der beiden anderen Stellungen herbeizuführen. In den Zwischenpositionen schliesst der Hahn jede Communication mit dem Stiefel ab.

Nach demselben Systeme lässt sich auch eine zweistieflige Luftpumpe herstellen, auf welche zurückzukommen sich vielleicht ein nächstes Mal Gelegenheit findet. Es sei hier nur noch erwähnt, dass sich das System der Bohrungen des Hahnes auch noch in anderer Weise benutzen lässt. Ersetzt man z. B. den Hahnenkörper durch einen schlechten, die Bohrungen durch einen guten Electricitätsleiter, so hat man einen Stromwechsler wie ihn die Fig. 11, 12, 13 darstellen.

Um den Druck der Atmosphäre, sowie Drucke, welche kleiner als der atmosphärische sind, zu messen, benutzt man das von Herrn Regnault angegebene Baromanometer. Dasselbe besteht aus zwei Glasröhren *ab* u. *cd* Fig. 25 Taf. XVII, deren innerer Durchmesser etwa 20 Millimeter beträgt, welche an dem einem Ende zu einem engen nach oben gekrümmten Röhrchen ausgezogen sind. Die oben geschlossene Röhre *AB* hat die Länge eines gewöhnlichen Barometerrohres, und wird, nachdem sie mit wohl ausgekochtem Quecksilber gefüllt ist, mit dem offenen Ende in eine gusseiserne Wanne getaucht und in verticale Stellung gebracht. Die Röhre *CD* endet oben in ein horizontal umgebogenes Haarröhrchen, das leicht mit dem Raume, wo die Pressung gemessen werden soll, in Communication gesetzt werden kann. Zu diesem Zwecke sind die zu vereinigenden Röhren in ganz gleiche Stahlfassungen *m*, *n*, *p*, *q* u. *m'*, *n'*, *p'*, *q'* Fig. 14 Taf. X gekittet, die in Form

Digitized by Google

abgekürzter Kegel von gleicher Grundfläche endigen. Wird zwischen die Grundflächen ein gefettetes Lederscheibchen *o o'* gebracht, die Hohlkehlzwinge *z* Fig. 14 umgelegt und die Schraube *s* derselben angezogen, so tritt eine vollkommene Schliessung ein. Die Wanne *WW'* Fig. 25 Taf. XVII ist durch die Wand *mn* in zwei Abtheilungen geschieden und mit trockenem Quecksilber gefüllt, dessen Niveau man mit Hilfe des Hahnes *R* sinken lassen kann. Durch die Wand *mn* ist es möglich gemacht, die beiden Abtheilungen von einander zu sondern, wenn man z. B. *CD* luftleer macht oder mit Luft füllt. Auf diese Art wird das Barometer vor den starken Oscillationen geschützt, in Folge welcher leicht kleine Luftblasen entstehen könnten.

Will man mit diesem Apparate z. B. den Luftdruck messen, so giesst man in die Wanne so viel Quecksilber, dass die Scheidewand vollkommen bedeckt ist, und stellt die mit zwei geschwärzten Spitzen versehene Schraube *S* derart ein, dass die untere Spitze das Quecksilberniveau eben berührt, hierauf misst man mit dem Kathetometer die Höhendifferenz zwischen dem Quecksilberniveau im Barometer und der oberen Spitze der Schraube *S* und fügt zu derselben die Länge der Schraube hinzu.

Zur Messung von Drucken, die grösser als der atmosphärische sind, dient das Quecksilbermanometer. Dasselbe wird aus den hinreichend weiten Glasröhren *ab* und *cd* Fig. 15 Taf. X gebildet, die durch ein mit einem Dreiweghahne *h* versehenes gusseisernes Verbindungsstück *ach* heberförmig vereinigt sind. Die Röhre *ab* ist in *ach* eingekittet und kann erforderlichen Falls nach oben hin durch Anfügung anderer Röhren verlängert werden. Man benutzt hiebei ähnliche Metallfassungen und Zwingen wie die vorhin beschriebenen. Dieselben Verbindungsmittel werden auch angewendet, um den rechten Theil, welcher bei verschiedenen Versuchen eine besondere Einrichtung hat, mit dem Stücke *abc* des Manometers zu vereinigen. Dieser Theil läuft oben in der Regel in ein horizontal umgebogenes Haarröhrchen aus, durch welches die Communication mit der künstlichen Atmosphäre, der Luftpumpe u. dgl. hergestellt wird. Die das Manometer zusammensetzenden Röhren sind entweder in Millimeter getheilt, oder in gewissen Abständen mit Merkzeichen versehen, die aus zwei mit Tusch auf Papier kreuzweise gezogenen feinen Strichen bestehen. Der Abstand zwischen je zwei unmittelbar auf einander folgenden Marken wird mit möglichster Schärfe bestimmt. Es braucht dann bei den Versuchen nur die Anzahl der

Digitized by Google

Marken, welche auf dem vom Quecksilber eingenommenen Röhrentheil liegen, gezählt und die Höhe der zwischen zwei Marken fallenden Quecksilbersäule mit Hilfe eines Kathetometers gemessen zu werden. Baromanometer und Manometer sind an einem starken Brette befestigt, das auf einem starken gusseisernen Dreifusse ruht, oder auch an der Mauer befestigt ist.

Um die Art und Weise, wie diese Apparate zu benutzen sind, sollen im Folgenden die vorzüglichsten Versuche, welche mit denselben ausgeführt werden können, etwas näher besprochen werden, wobei ich die Untersuchungen des Herrn Regnault zu Grunde lege.

Apparat zur Untersuchung der Compressibilität fester und flüssiger Körper.

Der in Fig. 15 Taf. X abgebildete Apparat stimmt im Ganzen mit dem von Regnault benutzten überein. Derselbe hat gegenüber den von Oersted, Colladon und Sturm verwendeten Apparaten den grossen Vorzug, dass er gestattet, die Compressibilität der Flüssigkeit und ihrer festen Hülle auf einmal zu finden[1]). Der Recipient K wird ganz mit Wasser gefüllt und auf die früher angegebene Weise der betreffende Deckel aufgesetzt. Dieser Deckel hat drei Tubulaturen, wovon die beiden seitlichen mit Hahnen R und R' versehen sind, während in die mittlere die graduirte Thermometerröhre a' b' des Piëzometers P eingekittet ist. Auf der linken Tubulatur ist die messingene Röhre df befestigt, welche durch einen in der Mitte befindlichen Seitenarm und eine Bleiröhre mit der künstlichen Atmosphäre AA' in Verbindung gesetzt werden kann. In dem oberen Theil dieser Röhre, welcher mit den Hahnen R'' und R''' versehen ist, wird die Piëzometerröhre eingekittet. Der Recipient wird beim Versuche in ein Wasserbad MN gestellt, damit das Piëzometer seine Temperatur nicht merklich ändere; das Thermometer T giebt die Temperatur dieses Bades an. Die Luftpumpe L wird durch ein Bleirohr mit der künstlichen Atmosphäre verbunden. Dem Apparat sind im Ganzen sechs Piëzometer beigegeben, deren Gefässe theils die Form einer Kugel, theils die Form eines Cylinders mit halbkugelförmigen Grundflächen haben und zu je zweien aus Messing, Kupfer und Glas bestehen[2]).

1) Mémoires de l'academie des sciences. Tom. XXI, p. 429. Paris 1847.

2) Herr Regnault liess zu seinen Versuchen die Kupfer- und Messingkugeln aus Halbkugeln herstellen, welche zunächst mit dem Hammer, dann auf der Dreh-

Digitized by Google

Nachdem man das Gefäss und die Scalentheile des Piëzometers im Vorhinein geaicht und mit der betreffenden Flüssigkeit gefüllt hat, werden die Hahnen R und R''' geschlossen, während R' und R'' geöffnet bleiben; es befindet sich also das Piëzometer innerlich und äusserlich unter dem genau zu messenden atmosphärischen Drucke. Sei m der abgelesene Stand der Flüssigkeit im Piëzometerrohre. Hierauf wird R' geschlossen und der Hahn R geöffnet. Es wirkt daher jetzt die Pressung P der künstlichen Atmosphäre von aussen auf das Piëzometer, während dieses im Innern nur den atmosphärischen Druck p erleidet. Die Flüssigkeit wird in Folge dessen bis m' steigen und $m' - m$ die Verminderung vorstellen, welche die innere Capacität des Piëzometers bei einer äusseren Pressung $P - p$ erleidet.

Lässt man die Hähne R' und R'' geschlossen und R und R''' geöffnet, so wirkt der Druck P der künstlichen Atmosphäre von aussen und von innen zugleich; es wird daher die Flüssigkeitssäule des Piëzometers unterhalb m' z. B. bis m'' sinken, so dass $m - m''$ in diesem Falle die scheinbare Contraction der Flüssigkeit im Piëzometer ist.

Behalten R'' und R''' ihre vorige Stellung bei, während R' geöffnet und R geschlossen wird, so hat das Piëzometer von aussen den atmosphärischen Druck p und innerlich die Pressung P auszuhalten. Die Flüssigkeit wird im Piëzometer bis m''' sinken und die erfolgte Compression wird $m - m'''$ sein.

Endlich schliesst man R''' und öffnet R'', wodurch wieder innerlich und äusserlich der atmosphärische Druck hergestellt wird. Es sollte demgemäss die Flüssigkeit in der Piëzometerröhre die Anfangsstellung m einnehmen, vorausgesetzt, dass weder die Temperatur sich modificirt, noch das Piëzometer eine bleibende Formveränderung erlitten hat. Bisweilen stellt sich wegen eingetretener Temperaturveränderung die Flüssigkeit nicht genau auf den Anfangspunkt m ein; die Verrückung ist aber nur sehr klein und es ist hinreichend, wenn man den Mittelwerth der ersten und letzten Piëzometerablesung in die Rechnung einführt.

Aus den gefundenen Beobachtungsresultaten lässt sich die Compressibilität der Flüssigkeit und des Piëzometergefässes berechnen. Die

---

bank bearbeitet wurden, um ihnen, so weit es überhaupt möglich, eine durchaus gleiche Dicke zu geben. Die zwei Halbkugeln wurden hierauf mit Silber zusammengelöthet und mit einer kleinen Tubulatur versehen, in welche die Piëzometerröhre eingerieben wurde.

Digitized by Google

betreffenden von Lamé abgeleiteten und von Regnault benutzten Gleichungen[1]) sind für ein sphärisches Piëzometergefäss:

$$\left.\begin{aligned} \omega &= \omega' + \omega'' \\ \varkappa P &= \frac{1}{V}\frac{4\omega'}{g(N+1)} \\ u P &= \frac{1}{V}\left(\omega'' + \frac{4\omega'}{g(N+1)}\right) \end{aligned}\right\} \ldots\ldots\ldots (I)$$

worin u die kubische Compressibilität der im Piëzometer enthaltenen Flüssigkeit, $\varkappa$ jene des Materials des Piëzometergefässes bedeutet, beide auf die Einheit des Volums und des Druckes bezogen. P stellt den ausgeübten Druck vor, ω die scheinbare Vereinigung des im Piëzometer enthaltenen Flüssigkeitsvolums V, wenn nur im Innern ein Drucküberschuss P herrscht, ω' die scheinbare Vergrösserung des Flüssigkeitsvolums, wenn nur äusserlich der Drucküberschuss P wirkt und ω'' ist die scheinbare Verminderung des Flüssigkeitsvolums, wenn der Druck P gleichzeitig innerlich und äusserlich auf das Piëzometer wirkt. Bedeutet ferner R den inneren, R' den äusseren Radius des Piëzometergefässes, so ist

$$V = \frac{4}{3}\pi R^3 \text{ und } N = \frac{R^3}{R'^3 - R^3}.$$

Für ein cylindrisches Gefäss mit halbkugelförmigen Grundflächen gelten die Gleichungen:

$$\omega = \omega' + \omega''$$

$$u P = \frac{\omega'}{\frac{8}{3}(M+1)U + \frac{9}{4}(N+1)V}$$

$$u P = \frac{\omega''}{U+V} + \frac{\omega'}{\frac{8}{4}(M+1)U + \frac{9}{4}(N+1)V}$$

In diesen Gleichungen ist

$$U = \pi R^2 H \text{ und } M = \frac{R^2}{R'^2 - R^2}$$

wenn H die Höhe des Cylinders, R wie vorhin den inneren, R' den äusseren Radius bedeuten. Die anderen Buchstaben bezeichnen dasselbe wie in der früheren Gleichung I, in welche die vorstehenden auch für $H = 0$ übergehen.

---

1) Regnault a. a. O. p. 437 u. ff.

Digitized by Google

III. Apparat zur Untersuchung der Compressibilität der Gase.

Bei dem zu den Versuchen über die Gültigkeit des Mariotte'schen Gesetzes verwendeten Apparate ist die rechte Manometerröhre, welche bei Regnault's Apparat 2^m lang war, von einem blechernen, vorne mit einer Glasscheibe versehenen Mantel umgeben, um mit Hilfe eines Wasserbades dem Gase eine gleichmässige Temperatur zu ertheilen. Aus demselben Grunde ist es gut, die Recipienten AA', in welchen mittelst der Luftpumpe L Fig. 16 Taf. XI das gut getrocknete Gas aus dem Gasometer G übergeführt wird, in ein Wasserbad zu stellen. Die dickwandige Manometerröhre cd ist durch feine Marken c und e in zwei nahezu gleiche Theile getheilt, deren Volumina V und V' im vorhinein auf bekannte Weise genau bestimmt werden. Beim Versuche stellt man durch eine Bleiröhre die Verbindung zwischen AA' und cd her und lässt das Gas langsam nach cd übertreten, bis das Quecksilber in cd etwa bis zur Marke c gesunken ist. Man schliesst dann den Hahn bei d, lässt mit Hilfe des Dreiweghahnes h das Quecksilber auf c genau einspielen und misst am Manometer die Pressung P, ferner den Barometerstand und die Temperatur ab. Hierauf wird so viel Quecksilber im linken Manometerschenkel nachgefüllt bis das Gas auf das Volum de gleich V' zusammengepresst ist. Man bestimmt wieder die Pressung P' und rechnet nach den vorgenommenen Correctionen den Quotienten $\frac{PV}{P'V'}$.

Herr Regnault bediente sich bei seinen Untersuchungen über die Zusammendrückbarkeit der Gase in den Fällen, wo die Drucke innerhalb der Grenzen von 1 und 2 Atmosphären eingeschlossen waren, eines Apparates, welcher dem von ihm und Herrn Reiset in den Ann. de chem. et phys. série III, t. XXVI, p. 333 beschriebenen Eudiometer ganz ähnlich ist und mit welchem auch der in Fig. 17 Taf. XII abgebildete Apparat im Wesentlichen übereinstimmt.

Derselbe besteht aus dem gewöhnlichen Quecksilbermanometer, dessen rechter Schenkel cd etwa 58 Centimeter lang ist, und in ein horizontal umgebogenes Haarröhrchen ausläuft. Dieser Schenkel ist ferner von einem Mantel für ein Wasserbad umhüllt, es ist aber besser, beide Arme mit einem Wasserbade zu umgeben. Das Glasrohr cd ist in gewissen Distanzen mit Merkstrichen versehen und es befindet sich auch am Haarröhrchen eine Marke π. Die Volumina, welche von π

Digitized by Google

aus gerechnet den einzelnen Merkstrichen von ed entsprechen, werden durch Wägung des sie ausfüllenden Quecksilbers auf das genaueste bestimmt und in eine Tabelle zusammengestellt. Das Haarröhrchen kann mittelst einer Hohlkehlzwinge entweder mit der Luftpumpe oder mit der den Dienst einer Glasglocke leistenden und desshalb unten offenen Glasröhre gi verbunden werden. Diese Glasröhre endet aber gleichfalls in eine mit Stahlfassung und Hahn versehenes Haarröhrchen aus und taucht in eine gusseiserne Quecksilberwanne ww', deren Form aus den Fig. 18 u. 19 Taf. XIV ersichtlich wird. Das hölzerne Gestell, durch welches die Wanne getragen wird, ist durch starke Charniere e' Taf. XII Fig. 17 mit dem Träger des Manometers verbunden, so dass man es beim Nichtgebrauche nach Entfernung der Schraube z leicht zurückschlagen kann. Mit Hilfe der Schraube S kann die Quecksilberwanne gehoben und gesenkt werden. Das Glasrohr gi kann mittelst der inwendig mit Kork ausgekleideten Zwinge x in verticaler Stellung festgehalten werden.

Um mit diesem Apparate die Compressibilität der Gase zu untersuchen, trocknet man zunächst die Röhre cd sorgfältig aus, indem man den Mantel mit warmem Wasser füllt, in die Manometerröhre etwas Quecksilber giesst und den Hahn h absperrt, sodann cd abwechselnd mit trockener Luft füllt und wieder luftleer macht. Kann man annehmen, dass die Röhre gut getrocknet ist, so wird die Verbindung zwischen den beiden Schenkeln des Manometers hergestellt und zugleich in den linken Arm so lange trockenes Quecksilber eingefüllt, bis es anfängt bei h'' auszutreten, worauf der Hahn h'' geschlossen wird. Die Glocke gi wird gleichfalls gut ausgetrocknet, durch Saugen ganz mit Quecksilber gefüllt und hierauf das zu untersuchende Gas eingelassen. Nachdem die Verbindung zwischen cd und gi bei $h'h''$ hergestellt ist, wird das Gas in gi durch langsames Heben der Quecksilberwanne comprimirt. Hierauf werden die Hähne $h'h''$ geöffnet und aus cd so viel Quecksilber bei h ausgelassen, bis das Quecksilber aus der Glocke bis zur Marke π gestiegen ist, wo der Hahn h plötzlich geschlossen wird.

Um die Compressibilitäten unter einander zu vergleichen, wählte Herr Regnault aus den Versuchsergebnissen jene, welche einer elastischen Kraft des Gases von ungefähr 700 Millimeter einerseits und dem doppelten dieser Zahl andererseits entsprechen und bildete dann den Quotienten $\frac{PV}{P'V'}$. Wie scharf die Abweichungen vom Mariotte'schen

Digitized by Google

Gesetze bei dieser Versuchsweise hervortreten, zeigen folgende Zahlen, welche aus bei 7,7° angestellten Experimenten sich ergeben haben.

	P mm.	P'	$\frac{P'}{P}$	$\frac{PV}{P'V'}$
Atmosphärische Luft	702,78;	1457,61	2,074	1,00215
Kohlenoxyd	703,18;	1457,28	2,072	1,00293
Kohlensäure	774,03;	1550,63	2,003	1,00722
Ammoniakgas	703,53;	1435,33	2,040	1,01881
Schweflige Säure	697,83;	1341,58	1,922	1,02088

Werden in die Röhre cd nahe bei d an gerade entgegengesetzten Stellen zwei Platindrähte eingefügt, welche im Innern der Röhre bis auf einige Millimeter sich nähern, werden ferner das Haarröhrchen mit den Marken π und σ versehen, so hat man das in Fig. 17 Taf. XII dargestellte Regnault'sche Eudiometer.

An diese Gruppe von Apparaten reiht sich das in Fig. 20 Taf. XIII abgebildete Volumenometer von Herrn Regnault an.[1]) In Bezug auf dasselbe braucht nur bemerkt zu werden, dass die Verbindungen bei C, C' und D durch Hohlkehlzwingen hergestellt sind und dass der Hahn h' der zwischen B und C befindlichen dreiarmigen Röhre ein Dreiweghahn ist. Der Glasballon E, sowie der übrige freie Theil des Apparates wird getragen durch den Metallstab $a\ b\ c$, welcher an einem Ende einen Ring bildet und an dem Brette BB' mittelst Metallbänder festgehalten wird.

IV. Apparat zur Untersuchung der Ausdehnung der Gase.

Die in Fig. 21 Taf. XIV dargestellte Anordnung des Apparates ist für die Untersuchung der Ausdehnung der Gase bei constantem Volumen bestimmt. An den zwischen 800 und 100 Kubikcentimeter fassenden Glasballon A ist ein Haarröhrchen angeschmolzen. Das Messinggefäss MN, in welchem sich der Ballon befindet, ist doppelwandig und so eingerichtet, dass der obere Theil abgehoben werden kann. Dieses Gefäss und die Lampe werden resp. von den eisernen Stäben $m\,n$ und $m'\,n'$ getragen. Die Manometerröhre $c\,d$ muss vor dem Füllen mit Quecksilber sehr gut getrocknet werden. Um den Glasballon A auszutrocknen, wird in MN Wasser zum Sieden gebracht, der Dreiweghahn h' so eingestellt, dass nur A mit der Luftpumpe

1) Vergl. Müller's Lehrbuch der Physik. 6. Auflage. I. Bd. p. 188.

Digitized by Google

communicirt. Der Ballon wird dann 20—30 Mal geleert und jedesmal wieder mit Luft gefüllt, welche durch den Trockenapparat U streichen muss. Hierauf wird in den Ballon das zu untersuchende, trockene Gas eingelassen, durch Drehung des Dreiweghahns h' die Verbindung zwischen dem Ballon A und dem Trockenapparat hergestellt und durch Vermittlung des Hahnes h so lange Quecksilber abfliessen gemacht, bis im rechten Schenkel die Quecksilberkuppe auf die Marke α einspielt. Der Ballon und das Röhrentheil $E\alpha$ sind auf diese Weise mit trockenem Gase bei der Temperatur des siedenden Wassers und dem atmosphärischen Drucke gefüllt. Man hebt nun die Verbindung mit dem Trockenapparate auf und liest zugleich die Temperatur des Thermometers T und den Barometerstand H ab.

Um die weiteren Daten für die Berechnung des Ausdehnungscoëfficienten zu erhalten, wird die Gaslampe abgedreht, bei dem Abflussrohre r das heisse Wasser aus MN abgelassen und der Deckel N abgehoben. Zur Beschleunigung der Abkühlung des Ballons wird wiederholt kaltes Wasser in das Gefäss MN gegossen. Endlich umgibt man den Ballon mit zerstossenem Eise und lässt zugleich aus dem Manometer Quecksilber ausfliessen, so dass sein Niveau im rechten Schenkel stets bei α steht. Hat die Luft in A die Temperatur des schmelzenden Eises angenommen, so liest man wieder den Barometerstand H_1, sowie die Temperatur t_1 des Thermometers T ab und bestimmt mittelst eines Kathetometers den Niveauunterschied h, in den beiden Schenkeln des Manometers. Die so erhaltenen Daten reichen bereits aus, um den Ausdehnungscoëfficienten α des Gases zu bestimmen. Wenn nämlich $t = t_1$ angenommen wird und wenn T die dem Barometerstande H entsprechende Siedetemperatur des Wassers, $\varkappa$ den Ausdehnungscoëfficienten des Glasballons vorstellt, so hat man die Gleichung

$$1 + \alpha T = \frac{(1 + \varkappa T) H}{H_1 - h_1 - \frac{v}{V} \cdot \frac{1}{1 + \alpha t} [H - H_1 + h_1]}$$

Der Coëfficient $\varkappa$ sollte ebenso wie es mit dem Volum V des Ballons und dem Volum v der Röhre zu geschehen hat, durch directe Versuche bestimmt werden[1]).

---

1) Herr Regnault aichte den Ballon mit destillirtem Wasser und bestimmte v mit Quecksilber. $\varkappa$ ermittelte derselbe nicht direct, sondern wandte den aus früheren Messungen für die Glassorte des Ballons gefundenen Mittelwerth 0,00233 an.

Digitized by Google

Will man, wie dies für genaue Untersuchungen nothwendig ist, einen Controleversuch anstellen, so leert man den Ballon A neuerdings, füllt ihn wieder mit trockenem Gase und regulirt den Stand des Quecksilbers so, dass es auf die Marke α einspielt. Nachdem man die Temperatur t_2 des Thermometers T und den Barometerstand H_2 abgelesen hat, wird das Eis aus MN entfernt und durch Wasser ersetzt, das zum Sieden gebracht wird, wobei in's Manometer Quecksilber nachgefüllt wird, um die Luft auf dem Volum $A\,d\alpha$ zu erhalten. Man lässt das Wasser eine Stunde lang sieden, bestimmt wieder den Barometerstand H_3, dem die Siedetemperatur T_3 entsprechen mag, und die Temperatur t_3 des Thermometers T_1 und die Höhedifferenz h_3 am Manometer. Nimmt man abermals $t_2 = t_3$ an, so erhält man zur Bestimmung von α die Gleichung:

$$1 + \alpha T_3 = \frac{(1 + \varkappa T_3)(H_3 + h_3)}{H_2 - \frac{v}{V} \cdot \frac{1}{1 + \alpha t_3}[H_3 + h_3 - H_2]}$$

Bei dieser Versuchsanordnung sind die Unterschiede der Drucke nicht sehr gross. So befand sich bei Regnault's Versuchen im ersten Falle die Luft bei der Temperatur von 0° unter der Pressung 0,^{m}760 und nachdem die Temperatur auf 100° gestiegen war unter dem Drucke 0,^{m}550. Im zweiten Falle war die Luft respect. den Drucken 0,^{m}760 und 1,^{m}040 ausgesetzt. Man kann jedoch leicht stärkere Pressungen anwenden, wenn man die Röhre CD durch eine weitere GJ Fig. 22 Taf. XV ersetzt, die von einem Mantel für ein Wasserbad umgeben ist. Man füllt unter atmosphärischem Drucke den Ballon, während derselbe mit schmelzendem Eis umgeben ist, und die wohl getrocknete Röhre EgJ mit dem zu untersuchenden Gase, so dass das Quecksilber bei J steht, worauf in dem offenen Schenkel des Manometers so viel Quecksilber nachgegossen wird, bis es auf die Marke g einspielt. Ist h die am Manometer abgelesene Höhendifferenz des Quecksilbers und H der Barometerstand, so steht das Gas bei 0° unter dem Drucke $H + h$. Das h wird sich in h' verwandeln, wenn das Eis in MN durch siedendes Wasser ersetzt wird. Offenbar werden die Grössen h und h' um so beträchtlicher sein, je grösser das Volum gJ im Verhältniss zum Glasballon ist.

Die in Fig. 22 Taf. XV dargestellte Disposition hat der Apparat auch für die directe Bestimmung des Ausdehnungscoëfficient der Gase, d. h. für den Fall, wo das Gas sein Volum ändert, während

Digitized by Google

die Pressung constant bleibt. Man muss auch hier Ballon und Röhre EgJ sorgfältigst trocknen und das Volumen gJ auf das Genaueste bestimmen. Der vorne mit einer Glaswand versehene pararallelopipedische Mantel, der eigentlich auch den zweiten Arm des Manometers einhüllen sollte, wird mit Wasser gefüllt, das in steter Bewegung erhalten wird. Der Vorgang beim Versuche ist sonst von dem früheren nicht sehr verschieden. Man füllt den vom schmelzenden Eise umgebenen Ballon unter atmosphärischem Drucke H mit dem zu untersuchenden trockenen Gase und macht das Quecksilber auf den Merkstrich g einspielen. Hierauf wird der Ballon auf die Temperatur des siedenden Wassers gebracht und das Quecksilber im Manometer so regulirt, dass es im rechten Arme etwa bei der Marke J stehen bleibt. Das Gas steht in den zwei Fällen beziehungsweise unter einem Drucke, der gegeben ist durch die betreffenden Barometerstände H und H_1 und durch die am Manometer etwa vorkommenden kleinen Höhendifferenzen h, h_1 des Quecksilbers. Zur Berechnung von α hat man die Gleichung

$$1 + \alpha T_1 = \frac{(H_1 + h_1)\,(1 + \varkappa T_1)}{H + h + \frac{v}{V} \cdot \frac{H + h}{1 + \alpha t} - \frac{v'}{V} \cdot \frac{H_1 + h_1}{1 + \alpha t_1}}$$

worin t die äussere Lufttemperatur, t_1 jene des Wassers im Mantel des Manometers, T_1 die dem Barometerstande H_1 entsprechende Siedetemperatur des Wassers, v' das Volumen EgJ bedeuten. Die übrigen Buchstaben haben die frühere Bedeutung.

V. Apparate zur Bestimmung der Dichte von Gasen und des Ausdehnungscoëfficienten derselben bei schwachen Drucken.

Um das wahre Gewicht eines Körpers zu erhalten, muss man bekanntlich zu dem scheinbaren Gewichte desselben das Gewicht der von ihm verdrängten Luftmasse hinzufügen. Dieser Umstand ist die Ursache von vielen Ungenauigkeiten der Wägungsresultate, weil der Zustand der umgebenden Luft, in Bezug auf Zusammensetzung, Temperatur und Feuchtigkeit beständigen Wechselungen unterworfen ist, ohne dass wir dieselben zu verhindern im Stande sind. Der Einfluss dieses Umstandes macht sich besonders bei Gaswägungen geltend, wo das Gewicht der verdrängten Luftmasse oft grösser ist als jenes des zu wägenden Gasquantums. Diese Schwierigkeiten hat Regnault durch den einfachen Kunstgriff beseitigt, dass er den Glasballon, in

Digitized by Google

welchen das zu wägende Gas gefüllt werden soll, mit Hilfe eines gleichen Glasballons äquilibrirt, indem er beide Ballone an der Wage so aufhängt, dass sie genau in dieselbe Luftschichte zu liegen kommen und daher in gleicher Weise von den Aenderungen im Zustande der Luft afficirt werden. Ist das Gleichgewicht zwischen den zwei Ballonen einmal hergestellt, so dauert es auch ununterbrochen fort, wovon sich Herr Regnault überzeugte, indem er seine zwei Ballone durch vierzehn Tage an der Wage hangen liess, während welcher Zeit die Lufttemperatur zwischen 0^0 und 17^0 und der Barometerstand zwischen 741^{mm} und 771^{mm} variirte. Um dieses Resultat zu erzielen, ist jedoch nothwendig, dass beide Ballone aus derselben Glassorte verfertigt sind, da im gegentheiligen Falle die Ballone verschiedene hygroskopische Kraft besässen und demgemäss verschiedene Wassermengen an ihren Oberflächen condensiren würden.

Die Ballone *A*, *B* Fig. 23 Taf. XVI fassen etwa 10 Liter. Der Ballon *A*, welcher zur Aufnahme des Gases bestimmt ist, trägt eine mit einem Hahne versehene Messingfassung, welche derart befestigt ist, dass Ballon sammt Fassung ohne Nachtheil in siedend heissen Wasserdampf gebracht werden können.

Die zu diesem Zwecke von Herrn Regnault getroffene Einrichtung ist aus Fig. 24 Taf. XVI ersichtlich. Die Fassung besteht aus den zwei Theilen *abcd* und *efgh*, welche mittels Schrauben auf einander befestigt bei *o* eine Hohlkehle bilden. Der Hals des Ballons wird umwickelt mit einem Hanfbande und mit einem Kitt überzogen, der aus gleichen Gewichtstheilen Minium und Bleiweiss besteht, die mit Leinöl zusammengerieben werden[1]). Beim Zusammenschrauben der beiden Theile der Fassung dringt der Ueberschuss des Kittes aus dem Hanfband in die Hohlkehle und zwischen die beiden einander genäherten Flächen der Fassung. Um das Eindringen des Kittes in den Ballon zu vermeiden, ist der Rand des Halses auf die innere Fläche *mn* der Fassung genau eingerieben.

Zur Bestimmung des Volumens dieses so montirten Ballons füllt Herr Regnault denselben vollständig mit Wasser, taucht ihn in Wasser von derselben Temperatur ein und ermittelt das scheinbare

1) Herr Regnault wendet diesen Kitt auch sonst an, um Röhren in den Fassungen zu befestigen. Der Kitt wird steinhart und schliesst nicht nur in der Kälte, sondern auch bei hohen Temperaturen vortrefflich, ohne durch plötzliche Temperaturänderungen Sprünge zu bekommen.

Digitized by Google

Gewicht desselben. Nachher wird der Ballon aus dem Wasser gehoben, sorgfältig getrocknet und abermals gewogen. Die Differenz der beiden gefundenen Gewichte gibt das Gewicht des vom Ballon verdrängten Wassers.

Auf den zweiten aus derselben Glassorte verfertigten Ballon *B* wird eine mit einem Hacken versehene Messingfassung aufgekittet. Man bestimmt den Gewichtsverlust, welchen dieser Ballon sammt Fassung im Wasser erleidet, welches genau dieselbe Temperatur hat, wie das für den ersten Ballon benutzte. Erweist sich dieser Gewichtsverlust z. B. um *n* Gramme kleiner als der Gewichtsverlust des Ballons *A*, so hängt man an jenen eine beiderseits geschlossene Glasröhre oder einen kleinen Glasballon an, wodurch gerade *n* Kubikcentimeter Wasser verdrängt werden. Bevor aber der Ballon *B* mit seiner Fassung hermetisch geschlossen wird, giebt Regnault eine solche Menge Quecksilber hinein, dass wenn beide Ballone mit Luft gefüllt an der Wage hängen, *A* einen Gewichtsüberschuss von etwa 10 Grammen zeigt.

Bei Anstellung des Versuches wird der Ballon *A* in zerstossenes Eis gebracht und mit dem Barometer und der Luftpumpe in Communication gesetzt I Fig. 23 Taf. XVI. Nachdem der Ballon im Innern wol ausgetrocknet und luftleer gemacht ist, wird das zu untersuchende Gas eingelassen, um es wieder auszupumpen. Das Einströmenlassen und Auspumpen des Gases wiederholt man 3—4 mal, um ganz sicher zu sein, dass der Ballon das Gas ganz rein enthält. Zugleich lässt man den Ballon in Verbindung mit der Atmosphäre treten, damit die Pressung des Gases mit dem atmosphärischen Drucke *H* sich ins Gleichgewicht setze. Ist dieses geschehen, so wird der Ballon geschlossen, aus dem Eise genommen, sorgfältig gereinigt und getrocknet und an die Wage gehängt. Man darf jedoch die Wägung nicht augenblicklich vornehmen, da es lange Zeit, oft mehr als zwei Stunden braucht, bis der Ballon sich mit der Umgebung ins thermometrische Gleichgewicht gesetzt und mit der normalen Feuchtigkeitsschichte bedeckt hat. Darum wartete Herr Regnault, um ganz sicher zu gehen, mit der Wägung bis zum folgenden Tage. Es ist nicht überflüssig, hier zu bemerken, dass man zum Abwischen des Ballons kein trockenes Tuch anwenden darf, da man sonst wie schon Dumas und Boussingault bemerkten, den Ballon merklich electrisch macht und es sehr schwer hält, die Electricität wieder zu entfernen. Herr Regnault fand das Gewicht eines mit trockenem Linnen abgewischten Ballons um $^3/_4$ Gramm grösser,

Digitized by Google

als das wahre Gewicht desselben. Dieser Gewichtsüberschuss betrug nach einer Stunde noch 0,15 Gramm und selbst nach 5 Stunden noch mehr als 0,01 Gramm. Der Einfluss des electrischen Zustandes auf die Wägung ist besonders dann beträchtlich, wenn der Wagekasten mit Metall belegt ist und der Ballon vom Boden nur wenig entfernt ist. Herr Regnault verwendete desshalb zum Abwischen stets eine mit destillirtem Wasser schwach benetzte Serviette, wodurch man auch etwa vorhandene Electricität vollständig entfernen kann; nebstdem überzeugte er sich noch vor der Wägung mittels eines Goldblattelektroskops, dass der Ballon unelektrisch ist.

Nach vollzogener Wägung wird der Ballon zurück in das Eis gebracht, neuerdings mit dem Baromanometer und der Luftpumpe verbunden und möglichst luftleer gemacht. Nach Verlauf von etwa einer Stunde wird der Druck h des im Ballon verbliebenen Gases gemessen und dann der Ballon wieder mit Beachtung aller Vorsichtsmaassregeln gewogen. Die Differenz $P - p$ der durch die beiden Wägungen gefundenen Gewichte giebt das Gewicht des Gases, welches bei 0^0 unter dem Drucke $H - h$ im Ballone enthalten ist und woraus sich das Gewicht des Gases bei 0^0 und dem Normalbarometerstande 760^{mm} berechnen lässt.

Diese Versuchsweise eignet sich auch zur Prüfung des Mariotte'schen Gesetzes und zwar um so mehr, als sie es ermöglicht das Gas sicher auf constanter Temperatur zu erhalten. Man füllt zu dieser Untersuchung den Ballon mit dem Gase bei 0^0 und unter dem atmosphärischen Druck und bestimmt sein Gewicht. Ferner hat man dem Gase im Ballon bei 0^0 immer schwächere und schwächere Pressungen zu ertheilen, jedesmal das Gewciht zu bestimmen und zu sehen, ob die gefundenen Zahlen dem Mariotte'schen Gesetze Genüge leisten.

Die bei der Temperatur von 0^0 angewandte Methode lässt sich auf die Untersuchung der Gase in Bezug auf die Dichte und das Mariotte'sche Gesetz bei 100^0 ausdehnen. II Fig. 23 Taf. XVI zeigt die betreffende Anordnung des Apparates.

Ist P das Gewicht des Gases, welches im Ballon A bei 0^0 und unter der Pressung $H - h$ enthalten ist.

H' der Barometerstand zur Zeit, wo der Ballon im siedenden Wasser sich befindet.

p das Gewicht des Gases, welches bei der Temperatur T des siedenden Wassers und dem Drucke H' aus dem Ballon treten würde.

Digitized by Google

α der Ausdehnungscoëfficient des Gases, $\varkappa$ jener des Ballons, so ergiebt sich die Gleichung

$$1 + \alpha T = \frac{(1 + \varkappa T) H'}{H - \frac{p}{P}(H - h)}.$$

Man ersieht hieraus, dass man mittelst Wägungen auch den Ausdehnungscoëfficienten der Gase bestimmen kann. Herr Regnault hat dieses Verfahren zur Ermittlung der Dilatation der Gase selbst bei hohen Pressungen angewendet[1]). Er bediente sich hierbei zweier dickwandiger Broncecylinder E, F Fig. 25 Taf. XVII von möglichst gleichem äusseren und inneren Volumen. Dieselben sind zur grösseren Sicherheit mit Messingringen umgeben und laufen in eine enge mit den Hahnen r, r' versehene Röhre aus. Diese Cylinder sind bei e u. f mittelst Hohlkehlzwingen mit der Röhre gi vereinigt, die zu dem mit grossen Stücken von Chlorcalcium gefüllten Behälter k führt, dessen Inneres mit der Compresssionspumpe communicirt.

Die Cylinder E und F werden zunächst im Innern sorgfältig getrocknet und mit trockener comprimirter Luft gefüllt, nachdem der eine in schmelzendes Eis, der andere in siedend heissen Wasserdampf gestellt worden ist. Bei geschlossenem Hahne h lässt man die beiden Cylinder E und F so lange mit einander in Communication, bis man annehmen kann, dass die Pressungen in denselben sich vollständig ins Gleichgewicht gesetzt haben; erst dann werden die Hahnen r und r' und zwar gleichzeitig geschlossen. Die beiden Recipienten E und F enthalten nun Gas von derselben unbekannten Spannkraft χ, jedoch respective bei der Temperatur 0^0 und der Temperatur T des unter dem atmosphärischen Drucke siedenden Wassers.

Heisst β der Ausdehnungscoëfficient der Luft unter der constanten Pressung χ,

$\varkappa$ der kubische Ausdehnungscoëfficient der Recipienten E und F, welchen Regnault gleich 0,0000566 annahm,

d das Gewicht des Kubikcentimeters Luft bei 0^0 und der Pressung von 1000^{mm}; sind ferner

V und V' die Rauminhalte der Recipienten E und F bei 0^0, p und p' die Gewichte der Luft, welche diese Behälter im Momente der Schliessung der Hähnen r, r' enthalten, so hat man die Gleichungen

1) Regnault, Relations des experiences. II. Bd. p. 567. 1862.

Digitized by Google

$$V d \frac{\chi}{1000} = p$$

$$V' d \frac{\chi}{1000} \cdot \frac{1 + \varkappa T}{1 + \beta T} = p',$$

woraus folgt:

$$1 + \beta T = \frac{p}{p'} \cdot \frac{V'}{V} (1 + \varkappa T).$$

Diese Gleichung schliesst jedoch die stillschweigend gemachte Annahme in sich, dass die Luft bei 0° und 100° sich in Bezug auf das Mariotte'sche Gesetz ganz gleich verhält, was natürlich nicht vollständig richtig ist.

Um den Ausdehnungscoëfficienten möglichst fehlerfrei zu bestimmen, muss man die Grössen V, V', p und p' sehr genau ermitteln. Die Rauminhalte der Cylinder E und F wurden von Herrn Regnault aus dem Gewichte des Wassers berechnet, welches die Cylinder bei einer gewissen Temperatur fassen. Dabei wurden durch Anwendung der Luftpumpe die Luftblasen von den inneren Wänden sorgfältig entfernt. Um die Gewichte p und p' zu finden, hing Herr Regnault die Cylinder E und F an je eine Wagschale, so dass das Gewicht der verdrängten Luft nicht in Betracht zu ziehen ist, da die Cylinder nahezu gleiche äussere Volumina haben. Nach Herstellung des Gleichgewichts an der Wage wurde ein Cylinder, z. B. F abgenommen, geöffnet, damit seine Luft die atmosphärische Pressung annehme, und dann luftleer gemacht. Ist h' die Spannung der noch in F nach dem Auspumpen verbleibenden Luft, t die äussere Lufttemperatur, α der Ausdehnungscoëfficient der Luft bei schwachen Drucken, so ist das Gewicht der in F noch enthaltenen Luft

$$q' = V' \frac{1 + \varkappa t}{1 + \alpha t} \cdot 0{,}0012932 \frac{h'}{760}.$$

Hängt man nun F wieder an die Wage, so wird man zur Herstellung des Gleichgewichts ein Gewicht π' zulegen müssen, so dass also

$$p' = \pi' + q'.$$

Auf ganz ähnliche Weise mit dem Cylinder A verfahrend, erhält die Gleichungen

$$q = V \frac{1 + \varkappa t}{1 + \alpha t} \cdot 0{,}0012932 \frac{h}{760}$$

und

$$p = \pi + q.$$

Digitized by Google

Die Methode den Ausdehnungscoëfficienten der Gase bei constantem Drucke mittelst Wägung zu bestimmen, hat den grossen Vorzug, dass das Gas bei 0^0 und 100^0 genau dieselbe Spannung besitzt, und man dieselbe nicht einmal zu kennen braucht, während es bei dem manometrischen Verfahren sehr schwer ist, das Gas bei 0^0 und 100^0 unter gleiche Pressungen zu bringen.

Herr Regnault untersuchte nach dieser Methode die Luft bis gegen 20 Atmosphären hin und fand, dass die Grösse $1 + 100\beta = C$ dargestellt werden kann durch die Gleichung

$$C = a - b\alpha^x,$$

worin $a = 1{,}4114540$; $\log b = 0{,}6575773 - 2$ und $log\alpha = 0{,}9850131 - 1$ ist. Nach dieser Gleichung wächst die Ausdehnung der Luft bei der Erwärmung von 0^0 auf 100^0 weniger schnell als der Druck zunimmt, ja sie nähert sich vielmehr dem Maximalwerthe 0,4115, der schon bei einer Pressung von 100^m Quecksilber oder 130 Atmosphären fast erreicht ist.

Wenn man die Gewichte des Gases, welches einerseits in dem von schmelzendem Eis umgebenen Cylinder E, andererseits in dem von siedend heissem Wasserdampf eingehüllten Cylinder F bei verschiedenen Drucken enthalten ist, unter einander vergliche, so würde sich das Gesetz der Zusammendrückbarkeit des Gases für die Temperaturen von 0^0 auf 100^0 ergeben.

Wenn man ferner E beständig im schmelzenden Eise lässt, F in ein Wasserbad bringt, das successive die stationären Temperaturen 25^0, 50^0, 75^0, 100^0 erhält, und jedesmal die Gewichte des Gases bestimmt, welches die Recipienten unter verschiedenen Drucken ausfüllt, so kann man erkennen, ob die Gasthermometer die in gegenwärtigem Falle gleichsam als Gewichtsthermometer benutzt werden, unter einander im Einklange bleiben, wenn sie unter verschiedenen Drucken mit demselben Gase gefüllt sind. Mit andern Worten, man würde finden können, ob die Ausdehnung der Gase zwischen 0^0 und 100^0 vollkommen regelmässig erfolgt, wenn die Temperatur gemessen wird mit einem Luftthermometer, welches auf der Messung der Spannkraftsänderungen, die ein und dasselbe Gasvolum bei verschiedenen Temperaturen erleidet, begründet ist.

Digitized by Google

VI. Apparat zur Bestimmung der Spannkraft der Dämpfe.

Dieser Apparat zur Bestimmung der Spannkraft der Dämpfe setzt sich aus dem Kessel *K* Fig. 26 Taf. XVIII, dem Condensator *mm'*, der künstlichen Atmosphäre *A A'* und dem Manometer zusammen. Der Kessel, in welchem das Wasser zum Sieden gebracht wird, ist wie die Figur es zeigt, mit einem Deckel verschlossen, welcher mit drei Metallröhren versehen ist, wovon 3 bis nahe zum Boden des Kessels reicht, während 1 und 2 nahe über der Oberfläche des Wassers endigen. Die Röhren 1 und 3 sind zur Aufnahme von Quecksilberthermometern bestimmt, während die Röhre 2 für das Gefäss eines Luftthermometers als Hülle dient. In diese drei Röhren wird beim Versuche Leinöl gegossen. Die Quecksilberthermometer sollen sich soweit einsenken lassen, dass die Quecksilbersäule nur etwa 1—2 Centimeter über dem Deckel hervorragt, um jene Correctionen zu vermeiden, welche nothwendig sind, wenn ein beträchtlicherer Theil der Quecksilbersäule ausserhalb des Raumes sich befindet, dessen Temperatur bestimmt werden soll. In dem Falle, wo die Temperatur im Kessel 180° überschreitet, destillirt an der Spitze der Säule Quecksilber in den leeren Raum der Thermometerröhre über; dieser Uebelstand wird jedoch bei nicht zu langer Dauer des Versuches beseitigt, wenn man die Quecksilbersäule etwas weiter z. B. 3^{cm} hervorragen lässt.

Das cylindrische Gefäss des Luftthermometers läuft in ein horizontal umgebogenes Haarröhrchen aus, das mittelst der dreiarmigen Röhre *r* mit dem Haarröhrchen des rechten Schenkels *e f* eines Manometers verbunden ist. Der Schenkel *e f* hat bei *a* einen Markstrich, auf welchem bei jeder Beobachtung das Quecksilber so scharf als möglich einzustellen ist. Herr Regnault füllt das Luftthermometer mit trockener Luft, indem er mittelst des Dreiweghahnes *s* die Communication zwischen beiden Schenkeln des Manometers herstellt, *g* mit der Luftpumpe und diese zugleich mit einem Trockenapparate verbindet, das Wasser im Kessel zum Sieden bringt und mehrmals nacheinander abwechselnd das Luftthermometer luftleer macht und trockene Luft in dasselbe langsam eintreten lässt. Schliesslich wird der Trockenapparat entfernt und in die Röhre *g l* Quecksilber eingefüllt.

Durch eine vierte mit dem Deckel des Kessels verbundene Röhre *i* steht das Innere des Kessels mit der Condensatorröhre *nn'* in Verbindung. Die Condensatorröhre ist von einem kupfernen Mantel *mm'*, welcher beim Versuche mit sich immer erneuerndem Wasser gefüllt

Digitized by Google

ist, umgeben und bei n' durch eine Röhre mit der künstlichen Atmosphäre AA' oder erforderlichen Falls auch mit einem Condensator C vereinigt wird.

Bei den Versuchen kommt es auf genaue Thermometer ganz besonders an. Man muss nicht nur die Werthe der Skalentheile genau kennen, sondern sich von der Lage der Fundamentalpunkte öfter überzeugen. Herr Regnault bestimmte den Siedepunkt des Thermometer am Anfang und Ende einer jeden Versuchsreihe, indem er das Wasser im Kessel unter atmosphärischem Drucke sieden liess. Die Ablesungen wurden hiebei so wie auch sonst mittelst Fernröhren gleichzeitig an den Quecksilber- und Luftthermometern ausgeführt. Aus der abgelesenen Spannkraft der im Luftthermometer eingeschlossenen Luft wurde jene berechnet, die dasselbe Luftvolum bei 0^0 besässe.

Ist nämlich H der abgelesene, auf 0^0 reducirte Barometerstand, während das Wasser unter dem atmosphärischen Drucke im Sieden war,

T die Temperatur des Wasserdampfes,

h der Höhenunterschied der Quecksilbersäulen im Luftthermometer,

H_0 die elastische Kraft, welche die Luft des Luftthermometers bei demselben Volum aber bei 0^0 besässe,

$\varkappa$ der mittlere kubische Ausdehnungscoëfficient des Glases zwischen 0^0 und 100^0,

α der Ausdehnungscoëfficient der Luft,

t die durch das Thermometer T angezeigte Temperatur,

t' jene des Thermometers t; ist ferner

V das Volumen des Gefässes des Luftthermometers mit Einschluss der vertikalen Röhre $\varkappa\varkappa'$,

v das Volumen der horizontalen Röhre $\varkappa'$ e und

v' endlich das Volumen zwischen e und α*), so hat man zur Bestimmung von H_0 die Gleichung

$$\left(\frac{1+\varkappa T}{1+\alpha T}+\frac{v}{V}\cdot\frac{1}{1+\alpha t}+\frac{v'}{V}\cdot\frac{1}{1+\alpha t'}\right)(H+h)=\left(1+\frac{v}{V}+\frac{v'}{V'}\right)H_0.$$

Will man die bei einem höheren Drucke herrschende Siedetemperatur x des Wassers nach dem Luftthermometer gemessen finden,

---

1) Die Volumina v und v' sind möglichst klein gewählt, um die Ungenauigkeiten, welche aus den mit v und v' vorzunehmenden Correctionen entspringen, möglichst klein zu machen.

Digitized by Google

so braucht man nur den aus der vorigen Gleichung für H_0 gefundenen Werth in die Gleichung

$$\left[\frac{1+x'T'}{1+\alpha x}+\frac{v}{V}\cdot\frac{1}{1+\alpha t}+\frac{v'}{V}\cdot\frac{1}{1+\alpha t'}\right](H'+h')$$
$$=\left(1+\frac{v}{V}+\frac{v'}{V}\right)H_0$$

einzuführen. In dieser Gleichung bedeutet T' die am Quecksilberthermometer abgelesene Temperatur des Wasserdampfes, x' der mittlere Ausdehnungscoëfficient des Glases zwischen 0^0 und T', H' der im Augenblicke der Beobachtung herrschende Barometerstand, h' die Höhendifferenz im Manometer des Luftthermometers.

Nachdem das Wasser im Kessel zum Sieden gebracht, wird die Luft im Reservoir AA' comprimirt, bis das Manometer einen Druck zeigt, bei welchem man beobachten will. Hierauf unterhält man das Sieden mindestens während einer halben Stunde und stellt das Quecksilber im Luftthermometer erst dann auf die Marke α ein, wenn die Thermometer stationär geworden sind. Man liest nun alle jene Grössen ab, welche zur Berechnung der Temperatur nach dem Luftthermometer nothwendig sind, und bestimmt am grossen Manometer zugleich den Druck der künstlichen Atmosphäre. Um die Schwankungen dieses Druckes und in Folge dessen die Unsicherheiten im Ablesen des Manometers zu vermeiden, ist es gut die künstliche Atmosphäre in ein Wasserbad zu stellen.

VII. Apparat zur Bestimmung der specifischen Wärme fester und flüssiger Körper.

Dieser Apparat zur Bestimmung der specifischen Wärme fester und flüssiger Körper nach der Mischungsmethode hat fast vollständig jene Einrichtung, welche Herr Regnault zuletzt seinem Apparate gegeben hat. Der Erwärmer, Fig. 27 Taf. XIX, wird von drei cylindrischen Hüllen aus Messingblech gebildet. In dem mittleren cylindrischen Raume wird das Messingkörbchen, welches in dem cylindrischen centralen Raume ein Thermometer, in dem ringförmigen Raume aber den zu untersuchenden Körper enthält, mittelst eines Seidenfadens gehängt, so dass es etwa in der Mitte frei schwebt. In dem Raume B mit ringförmigem Querschnitt circulirt beständig der aus dem Kessel K durch das Rohr ab kommende Wasserdampf, der weiter durch die Oeffnungen o in den Hohlraum r dringt und sich hier, B vor Ab-

Digitized by Google

kühlung schützend, theilweise condensirt, theilweise aber durch die Röhre *c d* in den Condensator *C* strömt. Das Condensationswasser fliesst theils durch die Röhre *e f*, theils durch die Röhre *d h* in den Kessel *K* zurück. Der centrale Raum des Wärmers ist oben und unten durch blecherne Deckel geschlossen. Der obere Deckel ist in der Mitte durchbrochen, um mittelst eines Korkes das Thermometer, welches die Temperatur des zu untersuchenden Körpers im Wärmer anzeigt, befestigen zu können. Durch diesen Kork ist ferner ein Glasröhrchen gesteckt, um den Seidenfaden durchzulassen. Der untere Deckel ist mit einer Vorrichtung versehen, so dass man leicht und schnell öffnen und schliessen kann.

Diese Wärmevorrichtung wird von einem hohlen Träger aus Holz gestützt, welcher entsprechend durchbrochen ist, um einerseits dem Körbchen, andererseits dem Thermometer des Calorimeters *R* den Durchgang zu gestatten. *m m* sind Holzleisten, zwischen welchen sich der Holzschirm *w* auf- und abschieben lässt.

Das auf einer Schlittenvorrichtung leicht verschiebbare Calorimeter *R* ist ein cylindrisches Gefäss aus sehr dünnem Messingbleche, das an der Aussenseite sorgfältig polirt ist, damit sein Ausstrahlungsvermögen recht schwach wird. Dieses Gefäss steht auf einem hölzernen Dreifuss in einem zweiten Blechgefässe, dessen innere Wand ebenfalls gut polirt ist, damit es dem Calorimeter die von diesem empfangenen Wärmestrahlen durch Reflexion möglichst vollständig zurückgebe. Das Thermometer *T*, welches durch einen Halter getragen und etwa 1^{cm} von der Gefässwand entfernt ist, soll ein Gefäss aus sehr dünnem Glase, von mindestens 3^{mm} Weite und von einer Höhe besitzen, die fast jener der Wassersäule des Calorimeters gleich ist. Die Wassermenge, welche in das Calorimeter *R* gegeben werden soll, wird am besten bei jedem Versuche mit einem Glaskolben gemessen, der im Vorhinein schon derart geaicht wird, dass nach Eintauchung des zu untersuchenden Körpers das Gefäss des Calorimeters nahezu vollständig gefüllt ist. Die von Herrn Regnault angewendete Wassermenge beläuft sich auf etwa 500 Gramme.

Für die Bestimmung der specifischen Wärme flüssiger Körper kann derselbe Apparat benutzt werden; man braucht die Flüssigkeit nur in dünnwandigen Glashüllen einzuschliessen, wobei natürlich auf die Ausdehnung der Flüssigkeit Rücksicht genommen werden muss. Herr Regnault bediente sich aber für Flüssigkeiten noch eines an-

Digitized by Google

deren wesentlich verschiedenen Apparates, bei welchem es möglich wird, die zu untersuchende Flüssigkeit im erwünschten Momente durch Druck aus dem Wärmer in das Calorimeter zu treiben.[1])

VIII. Apparat zur Bestimmung der specifischen Wärme der Gase.

Die Hauptbestandtheile des Apparates, welchen Herr Regnault bei seinen Untersuchungen über die specifische Wärme der Gase angewendet hat, sind[2])

1. Die Vorrichtungen zur Erzeugung eines Gasstromes, dessen Geschwindigkeit constant ist und nach Bedürfniss geregelt werden kann;
2. ein Oelbad, in welchem das Gas eine bestimmte Anfangstemperatur erhält, und
3. das eigentliche Calorimeter.

Der erste Bestandtheil wird von dem Gasbehälter AA' Fig. 28 Taf. XX gebildet, welcher einerseits mit der Compressionspumpe, andererseits mit dem Manometer und dem Schlangenrohre des Oelbades verbunden wird. Dieses Reservoir befindet sich in einem Wasserbad, dessen Temperatur durch stetes Rühren gleichmässig erhalten und mit dem Thermometer t genau bestimmt wird. Um dem Gasstrome eine bestimmte Geschwindigkeit zu ertheilen, wendet Herr Silbermann statt der von Herrn Regnault benutzten Mikrometervorrichtung einen Hahn h Fig. 29 Taf. IX, welcher, so wie die mit seiner Büchse verbundenen kurzen Röhrenstücke a, b eine Bohrung mit quadratischem Querschnitt hat. Durch verschiedenes Einstellen des Hahnes kann man dem Gasstrome eine grössere oder kleinere Oeffnung darbieten; zu diesem Zwecke sind Hahn und Büchse mit einer kleinen Theilung versehen. Bei m Fig. 28 Taf. XX befindet sich eine Verengerung, wesshalb vor derselben ein Drucküberschuss entsteht, der an dem Manometer M gemessen werden kann. Durch richtiges Einstellen des Hahnes h ist dieser Drucküberschuss und daher die Geschwindigkeit des Gasstromes constant zu erhalten. Bei höheren Pressungen entfernte Herr Regnault die Verengerung m und gab dem Manometer eine solche Einrichtung, dass man Drucke von mindestens 4 Atmosphären messen konnte. Auch

1) Regnault, relations des expériences. T. II. p. 262.
2) Regnault, relations des expériences. T. II. p. 59.

Digitized by Google

bei diesen Versuchen, bei denen im Reservoir AA' eine Pressung von 8—10 Atmosphären herrschte, wurde durch Regulirung der oben erwähnten Mikrometervorrichtung das Quecksilber im Manometer stets auf einer und derselben Marke erhalten und am Ende x des Schlangenrohres des Calorimeters ein kurzes Haarröhrchen angefügt, welches so gewählt war, dass das Gas bei unveränderlichem Stande des Manometers M stets mit der für die Genauigkeit des Versuches zweckmässig erachteten Geschwindigkeit ausströmte.

Das Bad B, in welchem das Gas erwärmt werden soll, besteht aus einem cylindrischen Gefässe aus Kupferblech, in welchem ein Schlangenrohr ebenfalls aus Kupferblech sich befindet. Dieses Schlangenrohr, durch welches das zu untersuchende Gas geleitet wird, hatte bei Regnault's Apparat eine Länge von 10 Meter und ein Durchmesser von 8 Millimetern. Der Deckel des Bades hat drei Tubulaturen; durch die eine tritt das Schlangenrohr ein, durch die zweite wird das Thermometer T gehalten und durch die dritte passirt die Stange des ringförmigen Rührers. Die letztere Tubulatur ist trichterförmig erweitert, damit sich darin das am Stabe der Rührers aus dem Bade mitgerissene Oel ansammle. Herr Regnault hatte das Oelbad noch mit einem Blechmantel umgeben, um die Temperaturschwankungen zu verringern. Die im centralen Raume des Serpentins befindliche Thermometer T giebt die Temperatur des Oelbades an. Da aber ein beträchtlicher Theil der Quecksilbersäule ausserhalb des Bades liegt, so muss mit den Anzeigen des Thermometers eine Correctur vorgenommen werden. Zu diesem Zwecke ist es am besten, das Thermometer in jene Stellung zu bringen, welche dasselbe bei den definitiven Versuchen einnimmt und seinen Gang mit dem eines Luftthermometers durch directe Versuche zu vergleichen. Aus den Beobachtungsdaten construirt man sich dann eine Curve, deren Abscissen die am Quecksilberthermometer abgelesenen Temperaturen und deren Ordinaten jene Correctionen sind, welche mit ersteren vorgenommen werden müssen, um sie mit den Angaben des Luftthermometers übereinstimmend zu machen. Mit Hilfe dieser Curve lassen sich dann die am Thermometer T abgelesenen Temperaturen jedesmal leicht in Angaben des Luftthermometers umsetzen.

Das Calorimeter besteht aus einem Messinggefässe, in welches beim Versuche eine genaue bestimmte Wassermenge gegeben wird, und aus jenem Theile, durch welchen das zu untersuchende Gas geleitet wird, um seine im Oelbade erhaltene Wärme an das Calorimeter-

Digitized by Google

wasser abzutreten. Dieser letztere Theil setzt sich aus einer Büchse n und aus dem damit verbundenen Schlangenrohre sx, beide aus Messingblech, zusammen. Die Büchse hat eine Tubulatur, in welche das Ende des Serpentins des Oelbades eingefügt wird. Diese Einrichtung des Calorimeters ist ähnlich jener, welche Herr Regnault dem Calorimeter bei Anwendung hoher Pressungen gegeben hat. Die Büchse ist bei letzterem nur ersetzt durch eine verticale an beiden Enden geschlossene Messingröhre von 20^{mm} innerem Durchmesser, an deren unterem Theile der Serpentin des Oelbades, während gegen die obere Basis zu der Serpentin des Calorimeters mit Silber angelöthet ist. Letzterer Serpentin bildete eine messingene Röhre von ungefähr $2^1/_2$ Meter Länge und 8 Millimeter innerem Durchmesser. Der Serpentin soll seiner ganzen Länge nach $5—6^{mm}$ von den Wänden des Calorimeters entfernt sein. Das Ganze wird noch in ein zweites Blechgefäss gestellt, welches am Boden drei Korke als Unterlage für das Calorimeter hat und dessen Deckel mit den nöthigen Tubulaturen für das Thermometer T' und den Röhren rr versehen ist. Um das Calorimeter vor der Wärmestrahlung des Bades zu schützen, wird eine Bretterwand SS angewendet.

Sehr viele Schwierigkeiten verursacht die Herstellung der Verbindung zwischen dem Schlangenrohr des Oelbades und dem Calorimeter, indem es dabei darauf ankommt, das Gas wo möglich mit der Temperatur im Calorimeter anlangen zu lassen, welche es im Oelbade angenommen hat und die nach Regnault's Versuchen selbst bei grösseren Geschwindigkeiten des Gases höchstens um $0,^{o}2$ von jener des Oelbades abweicht. Durch speciell angestellte Versuche fand Herr Regnault, dass in dem Falle, wo die Verbindung mittelst schlecht leitender Substanze (Kork, Glas) hergestellt ist, bei sonst gleichen Umständen der Verlust an Wärme, welchen das Gas auf seinem Wege vom Wärmer in das Calorimeter erleidet, um so grösser ist je langsamer das Gas circulirt, dass aber die für die specifische Wärme gefundenen Zahlen kaum merklich variiren, sobald die Geschwindigkeit des Gases eine bestimmte Grenze erreicht hat, selbst wenn diese Geschwindigkeit sich verdoppelt oder verdreifacht. Man kann also in diesem Falle den Wärmeverlust, den das Gas beim Uebergange vom Wärmer in das Calorimeter erleidet, geradezu vernachlässigen. Wächst jedoch die Geschwindigkeit noch weiter, so nahmen die gefundenen specifischen Wärmen wieder ab; zugleich trat das Gas mit einem beträchtlichen

Digitized by Google

Temperaturüberschusse aus dem Calorimeter. Die Art und Weise wie bei dem in Fig. 27 Taf. XIX dargestellten Apparate die Verbindung zwischen dem Serpentin des Wärmers und dem Calorimeter ausgeführt ist, gleicht jener, welche Regnault bei dem Apparat für höhere Pressungen angewendet hat. Es ist nämlich an das Oelbad ein conischer Ansatz angelöthet, welcher den Zweck hat, das Verbindungsrohr bis zu dessen Eintritt in das Calorimeter mit warmem Oel zu umgeben.

Das Thermometer T', dessen Gefäss sich innerhalb des Serpentins des Calorimeters befindet, muss möglichst genaue Ablesuugen gestatten. Herr Regnault konnte an dem seinigen mittelst eines Fernrohrs $^1/_{200}$ eines Grades abschätzen. Die Lufttemperatur wird durch ein in unmittelbarer Nähe des Calorimeters befindliches Thermometer angegeben.

In Bezug auf das Calorimeterwasser ist zu bemerken, dass man am besten jedesmal dasselbe Volum verwendet, zu welchem Zwecke man einen Glaskolben aicht. Herr Regnault ermittelte das Gewicht dieses Wasservolums für die Temperatur von 4° und nahm an, dass die Wärmecapacität desselben constant bleibt bei all den Temperaturen, bei welchen für die verschiedenen Versuche das Wasservolum des Calorimeters bestimmt wurde. Diese Annahme ist zulässig, weil das Gewicht des bei höheren und höheren Temperaturen genommenen Wasservolumens nahezu in demselben Verhältnisse abnimmt, in welchem die specifische Wärme des Wassers wächst.

Zur Bestimmung der Gasmenge, welche bei den einzelnen Versuchen durch das Calorimeter geleitet wird, ist es nothwendig, das Gewicht des im Reservoir AA' bei verschiedenen Drucken enthaltenen Gases zu kennen. Für atmosphärische Luft verfuhr Herr Regnault in folgender Weise. Das Reservoir wurde mit trockner Luft gefüllt, deren Spannung und Temperatur genau gemessen wurde, und dann in einen luftleer gemachten Glasballon, wie er zu Dichtigkeitsbestimmungen der Gase benutzt wird, so viel Luft austreten gelassen, dass in dem Ballon etwa ein Druck von einer Atmosphäre entstand. Hatte die Luft im Reservoir den Zustand des Gleichgewichts wieder angenommen, so wurden abermals Druck und Temperatur bestimmt und der Ballon mit aller Sorgfalt gewogen. Auf diese Weise wurde bei verschiedenen Drucken das Gewicht der Luftmenge bestimmt, die aus dem Behälter AA' austreten muss, um daselbst eine Druckverminderung von einem Millimeter zu erzeugen. Ist π das Gewicht der trockenen

Digitized by Google

atmosphärischen Luft, welche im Reservoir beim Drucke h enthalten ist, so kann man setzen

$$\pi = Ah + Bh^2 + Ch^3, \quad \ldots\ldots\ldots\ldots 1)$$

worin A, B, C constante Coëfficienten sind, welche sich aus den Versuchsergebnissen bestimmen lassen.

Aus der vorigen Gleichung folgt nämlich

$$\frac{d\pi}{dh} = A + 2Bh + 3Ch^2.$$

Nimmt man nun $dh = 1^{mm}$, so stellt $d\pi$ das Gewicht p der Luftmenge vor, welche aus dem Reservoir ausströmend in diesem eine Druckerniedrigung von 1^{mm} erzeugt. Für drei Beobachtungsfälle hätte man zur Bestimmung von A, B und C die Gleichungen

$$\begin{aligned} p &= A + 2Bh + 3Ch^2 \\ p' &= A + 2Bh' + 3Ch'^2 \\ p'' &= A + 2Bh'' + 3Ch''^2. \end{aligned}$$

Mit Zugrundelegung der Beobachtungsresultate

$$\begin{aligned} h &= 7665{,}73^{mm} \quad , \quad p = 0{,}0512692^{gr} \\ h' &= 5276{,}24 \quad , \quad p' = 0{,}0510252 \\ h'' &= 1141{,}23 \quad , \quad p'' = 0{,}0507255 \end{aligned}$$

fand Herr Regnault

$$\begin{aligned} \log A &= 0{,}7047569-2 \\ \log B &= 0{,}3347796-8 \\ \log C &= 0{,}8104189-12. \end{aligned}$$

Bei der Reduction des nach Gleichung 1) für irgend einen Druck h berechneten Gewichtes auf die Temperatur 0^0 wurde auch darauf Rücksicht genommen, dass in dem Ausdrucke $\frac{\pi}{1+\alpha t}$ die Grösse α, d. i. der Ausdehnungscoëfficient der Luft mit der Pressung wächst. Es wurde desshalb der Ausdehnungscoëfficient α, welcher irgend einem Drucke P entspricht, berechnet nach der Gleichung

$$\frac{\alpha_1}{\alpha_0} = 1 + A(P-1),$$

worin $\alpha_0 = 0{,}003669$ den Ausdehnungscoëfficienten der Luft bei einer Pressung von einem Meter Quecksilber und A eine constante Grösse bedeutet, für welche aus den Versuchsergebnissen $P = 3{,}^m6556$ und $\alpha_1 = 0{,}0037091$

$$\log A = 0{,}6182089-3$$

gefunden wurde.

Digitized by Google

Dieselbe Berechnungsweise wurde auch für Kohlensäure angewendet, während die Gewichte anderer Gase, die das Volumen des Reservoirs bei 0° und irgend einem Quecksilberdrucke H ausfüllen durch Interpolationsformeln berechnet wurden, die aus directen Versuchen über die Compressibilität dieser Gase abgeleitet waren. So wurde dieses Gewicht P z. B. für Sauerstoff bestimmt durch die Gleichung

$$P = \frac{\pi}{0{,}760}\,\delta\,H\,[1 + A\,(H - 0{,}760) - B\,(H - 0{,}760)^2],$$

in welcher π das Gewicht des im Reservoir bei 0° und dem Drucke $0{,}^{m}760$ enthaltenen Gasvolumens, δ die Dichte des Gases, A und B aber gewisse Constante sind.

Die Art des Versuches für atmosphärische Luft ist folgende. Nachdem das Oelbad bis zu der im Vorhinein festgesetzten Temperatur[1]) erwärmt ist, wird die Gaslampe so geregelt, dass die Temperatur des Bades sehr langsam steigt, damit sie später, wo das Gas durch den Serpentin zieht, stationär wird. Die Rührer des Bades und Calorimeters sind während des ganzen Versuches in ganz gleichmässiger Bewegung zu erhalten. Ist das Oelbad bis zu dem entsprechenden Grade erwärmt, so wird die Temperatur und der Druck der Luft im Reservoir AA' bestimmt und mit den Beobachtungen am Calorimeter begonnen, um während der ersten 10 Minuten die Temperaturveränderungen, welche das Calorimeter durch den Einfluss der störenden Ursachen erleidet, zu ermitteln. Diese störenden Ursachen sind:

a. Die Erwärmung oder Abkühlung durch die umgebende Luft. Diese dadurch erzeugte Wirkung kann der Differenz zwischen der Temperatur Θ des Calorimeters und jener t der umgebenden Luft proportional gesetzt werden, so dass sie $A\,(\Theta - t)$ gleich gesetzt werden kann, wenn A eine Constante bedeutet, die aber für jedes Experiment besonders bestimmt werden muss. Es ist dabei die Annahme gestattet, dass der Unterschied $\Theta - t$ während der 10 Minuten constant und zwar gleich ist der Differenz, welche man erhält, wenn man das Mittel t aus der Anfangs- und Endtemperatur der äusseren Luft abzieht, von dem Mittel Θ der Temperaturen, die das Calorimeter am Anfange und am Ende der 10 Minuten zeigt.

1) Bei Regnault's Versuchen variirte die Temperatur des Oelbades von 114° bis 246°.

Digitized by Google

b. Die zweite störende Ursache ist die Erwärmung, welche das Calorimeter erleidet von Seite des Schirmes durch Strahlung und insbesondere in Folge der Leitung des Verbindungsrohres zwischen dem Oelbade und dem Calorimeter. Der Einfluss dieser Ursachen, zumal da bei dem vorliegenden Apparate die Verbindungsröhre aus lauter gut leitenden Substanzen besteht, ist sehr bedeutend, kann aber während der Dauer des Versuches als unveränderlich angesehen werden, weil er im Allgemeinen nur bedingt ist durch die Temperaturdifferenz zwischen Oelbad und Calorimeter, diese Differenz sich aber nur sehr wenig ändert, wenn das Oelbad eine halbwegs hohe Temperatur hat.

c. Das Calorimeterwasser wird ferner in Folge der Bewegung des Rührens erwärmt; aber auch dieser Einfluss kann als constant angesehen werden, wenn der Rührer während des ganzen Versuches gleichförmig bewegt wird.

Aus den Widerständen, welche das Gas bei dem Durchgange durch die Schlangenrohre zu überwinden hat, könnte man auf eine beträchtliche Aenderung der Spannkraft und demzufolge der Temperatur des Gases schliessen. Im Oelbade wäre jede solche Aenderung zwar ohne Einfluss, da jeder Verlust an Wärme sogleich ersetzt würde. Aber auch in Bezug auf das Calorimeter hat Herr Regnault durch besondere Versuche sich überzeugt, dass die Spannungsänderungen unbedeutend sind und ganz ausser Acht gelassen werden können.

Bezeichnet man nun die Gesammtwirkung der störenden Ursache *b.* und *c.* mit K, und ist $\Delta\Theta$ der zehnte Theil der Temperaturveränderung, welche das Calorimeter während der 10 Minuten erfährt, d. i. die Temperaturänderung in einer Minute, so hat man die Gleichung:

$$2) \ldots\ldots\ldots \Delta\Theta = A(\Theta - t) + K.$$

Herr Regnault hat auch untersucht, ob die Gegenwart eines mehr oder weniger comprimirten Gases im Serpentin einen merklichen Einfluss auf den Werth von K ausübe; die gefundenen sehr kleinen Aenderungen dieser Grösse schienen jedoch in keiner Beziehung zu den Gasdrucken zu stehen.

Am Ende der zehnten Minute lässt man die Luft in das Oelbad und das Calorimeter unter einem während der ganzen Dauer des Versuches constant zu erhaltenden Druck einströmen. Während der Gasstrom das Calorimeter mit gleichbleibender Geschwindigkeit durch-

Digitized by Google

strömt, liest man von Minute zu Minute die Temperatur des Oelbades, des Calorimeters und der umgebenden Luft ab. Ist die entsprechende Gasmenge durchgeflossen, so schliesst man die Zuflusshahnen und liest noch während drei Minuten die Temperaturen des Calorimeters und der umgebenden Luft von Minute zu Minute ab, um sicher zu sein, dass die Temperatur in allen Theilen des Calorimeters sich ausgeglichen hat.

Um den Einfluss der störenden äusseren Ursachen auf das Calorimeter berechnen zu können, beobachtet man die letztgenannten Temperaturen noch während 10 Minuten und erhält so für die Temperaturänderung $\Delta\Theta'$ während einer Minute dieser letzten Beobachtungsperiode die Gleichung

3) . . . . . $\Delta\Theta' = A(\Theta' - t') + K.$

Hierin sind Θ' und t' abermals die mittleren Temperaturen des Calorimeters und der umgebenden Luft.

Aus den Gleichungen 2) und 3) ergeben sich A und K, so dass man eine allgemeine Gleichung erhält, mit deren Hilfe man die Wirkungen berechnen kann, welche durch die störenden Ursachen während der Dauer des Gasstromes von Minute zu Minute hervorgebracht werden. Man setzt dabei natürlich voraus, dass die Temperatur des Calorimeters sowohl wie jene der umgebenden Luft während jeder Minute gleich ist dem Mittel aus der Temperatur am Anfange und Ende dieser Minute. Die Gesammtwirkung der störenden Ursachen während der Dauer des Gasstromes wird also durch $\Sigma\Delta\Theta$ gegeben sein. Ist demnach P das Gewicht der Luft, welche den Apparat durchfloss, T der mittlere Ueberschuss der Temperatur des Oelbades über jene des Calorimeters während der Dauer des Gasstromes, Θ die Anfangs-, Θ' die Endtemperatur des Calorimeters, M der gesammte Wasserwerth des Calorimeters, x die unbekannte specifische Wärme des Gases auf die des Wassers als Einheit bezogen, so erhält man

$$P x T = M(\Theta' - \Theta - \Sigma\Delta\Theta).$$

Die aus dieser Gleichung für x gefundenen Werthe leiden selbstverständlich unter der Ungenauigkeit der Gleichungen 2) und 3). Wie schon erwähnt hat Herr Regnault auf experimentalem Wege die Zulässigkeit dieser Gleichungen im Allgemeinen bestätigt gefunden. Nichtsdestoweniger macht er darauf aufmerksam, dass die Umstände, unter welchen die Constanten A und K bestimmt wurden, zum Theile

Digitized by Google

verschieden sind von jenen, welche beim Durchströmen des Gases durch das Calorimeter stattfinden. Während nämlich der Einfluss des umgebenden Mittels derselbe bleibt, wirkt die Conductibilität des Verbindungsrohres in Folge von verschiedenen Temperaturdifferenzen verschieden, je nachdem der Gasstrom unterbrochen ist oder nicht. Im ersteren Falle hat das eine Ende des Verbindungsrohres zwischen Oelbad und Calorimeter die Temperatur des Oelbades, das andere jene des Calorimeters; der Wärmestrom hat daher Statt gemäss dieser Temperaturdifferenz. Wenn dagegen das Gas, welches die Temperatur des Oelbades hat, durch das Calorimeter streicht, so tritt es offenbar Wärme an das dem Calorimeter benachbarte Ende des Verbindungsrohres ab, und zwar um so mehr, je langsamer das Gas durchströmt; es wird also K nicht denselben Werth haben wie im vorigen Falle. Aus diesem Umstande mag es sich wohl grösstentheils erklären, dass bei geringen Geschwindigkeiten des Gasstromes niedrigere Zahlen für die specifische Wärme des Gases gefunden werden. Für die Unsicherheit des Werthes von K spricht auch die Thatsache, dass Herr Regnault mit dem Apparate, welcher für höhere Pressungen benutzt wurde und dessen Verbindungsrohr nur aus gut leitenden Substanzen bestand, merklich verschiedene Werthe für die specifische Wärme der Luft fand, wenn er irgend eine Veränderung am Verbindungsrohre, z. B. an der Länge, Wanddicke anbrachte.

Mit demselben Apparate lässt sich auch die specifische Wärme anderer Gase, welche das Messing nicht angreifen, bestimmen. Die Versuchsweise bleibt im Wesen dieselbe, wie für Luft. Die Grössen A und K wurden von Herrn Regnault für jede Gasart besonders bestimmt. Dabei stellte sich das bemerkenswerthe Resultat heraus, dass die störenden Ursachen auf die Temperatur des Calorimeters denselben Einfluss üben, mag der Serpentin atmosphärische Luft oder ein anderes Gas z. B. Sauerstoff, Kohlenoxydgas enthalten, dass aber der Wasserstoff für die Grösse A nahe denselben Werth wie die Luft, dagegen für K eine viel beträchtlichere Zahl giebt. Da nun der Werth von K vorzugsweise von der Wärme, welche durch Leitung vom Oelbade in das Calorimeter geführt wird, beeinflusst wird, so muss man schliessen, dass durch die Gegenwart von Wasserstoff im Innern der Röhren die Conductibilität erhöht wird. Dies erklärt sich aus dem Umstande, dass das Wasserstoffgas, wahrscheinlich in Folge der ausserordentlichen Beweglichkeit seiner Theilchen ein viel grösseres

Digitized by Google

Wärmeleitungsvermögen besitzt, als die anderen Gase. Das Verhältniss dieser Conductibilität zu jener anderer Gase dürfte sich mit demselben Apparate bestimmen lassen.

IX. Apparat zur Bestimmung der latenten Wärme der Dämpfe.

Bei den neueren Untersuchungen über die latente Wärme der Dämpfe bediente Herr Regnault sich eines Apparates, welcher wesentlich einfacher als der frühere ist und Untersuchungen mit geringeren Flüssigkeitsmengen gestattet. Diesem Apparat ist der in Fig. 30 Taf. XXI dargestellte nachgebildet. Die Hauptbestandtheile desselben sind ausser der künstlichen Atmosphäre AA', dem Manometer und der Luftpumpe, der Condensator C, der Kessel K und das Calorimeter D.

Der Condensator, an dessen Wasserstandglase man den regelmässigen Gang der Destillation verfolgen kann, steht in einem Kühlfasse, dessen Wasser beständig erneuert wird, und communicirt einerseits mit der künstlichen Atmosphäre andererseits mit dem Innern des Kessels.

Der Deckel des Kessels K trägt einen Helm aus starkem Kupferblech, welcher, wie aus Fig. 31 Taf. XXI näher zu ersehen ist, ein nahe bis zur Oberfläche der im Kessel enthaltenen Flüssigkeit reichendes, unten verschlossenes Rohr nn' trägt, das zur Aufnahme eines Thermometers bestimmt ist. Ausserdem ist der Helm des Kessels von einem weiten, dickwandigen, etwas geneigten Kupferrohr mm' durchdrungen, welches dem Dampfzuleitungsrohre des Calorimeters als Mantel dient und durch die Oeffnungen o,o Fig. 31 mit dem Dampfraume des Kessels, sowie durch das Rohr rr Fig. 30, mit dem Condensator communicirt. Der Dampf, welcher aus dem Kessel in das Calorimeter geleitet wird, ist daher von einer Dampfhülle derselben Temperatur umgeben und somit vor jeder Abkühlung geschützt. In der Axe des Mantels mm' befindet sich ein engeres, dickwandiges Metallrohr, welches an jenem bei g sehr sorgfältig angelöthet ist, an dem anderen Ende aber eine Erweiterung besitzt, welche die Büchse des Dampfvertheilungshahnes R bildet. Dieser Hahn ist hohl und hat eine seitliche Bohrung, so dass bei der Stellung, wie Fig. 29 Taf. XX sie zeigt, der Dampf in das Calorimeter gelangen kann, während nach einer mittelst der Handhabe f Fig. 31 ausgeführten Drehung von 90° die Communication zwischen Dampfkessel und Calorimeter ganz abgesperrt ist. Der Stab, mit dem

Digitized by Google

der Hahn dirigirt wird, muss durch eine sorgfältig gearbeitete Stopfbüchse gehen, damit hermetischer Schluss stattfindet. Bei den hohen Drucken und Temperaturen, welche der Dampf annehmen kann, ist dies nicht leicht zu erzielen.

Die Fig. 32 Taf. XV stellt die von Herrn Regnault getroffene Einrichtung vor. Die Röhre ab, von welcher der Stab F' des Vertheilungshahnes umgeben wird, ist gelöthet an einen Ring EE', welcher mit einer Tubulatur $c\,d\,d'\,c'$ versehen ist. Auf diese Tubulatur wird ein Broncestück $r\,s\,r'\,s'$ geschraubt, nachdem ein Bleiring $p\,p'$ inzwischen gelegt worden ist. Auf dieses Broncestück, in welchem die Hahnstange FF' sich mit sanfter Reibung drehen lässt, wird abermals eine in der Mitte durchbohrte Schraubenmutter aufgeschraubt. Durch dieselbe wird der durchbohrte Metallstöpsel $n\,t\,n'\,t'$ hineingedrückt und so das um FF' gewickelte, mit weicher Kaliseife eingeschmierte Werg in $o\,o'$ fest zusammengepresst. Um die Ansammlung von condensirter Flüssigkeit in der Stopfbüchse $o\,o'$ zu verhindern, ist die Metallröhre $q\,q'$ angebracht, welche zu der künstlichen Atmosphäre führt, so dass immer dieselbe hohe Pressung herrscht und kein Grund vorhanden ist, wesshalb der Dampf in die Stopfbüchse gelangen sollte.

Das Calorimeter besteht aus einem Gefässe aus dünnem Messingblech, in welches das Calorimeterwasser gegeben und aus dem Serpentin, durch welchen der Dampf geleitet wird. Das cylindrische Gefäss steht in einem zweiten weiteren Gefässe aus Messingblech, welches das Calorimeter vor dem directen Einflusse der umgebenden Luft schützt und darum auch mit einem Deckel verschlossen ist, der bloss dem Schlangenrohre, dem Thermometer T Fig. 30 Taf. XXI und dem Rührer G den Durchgang gestattet. Der Serpentin wird gebildet von einer innerlich oval polirten Hohlkugel aus starkem Messingblech, versehen mit einem kurzen cylindrischen Ansatze, damit sich darin die Dämpfe vollends condensiren. An diesen Cylinder fügt sich das Schlangenrohr an, das mit der künstlichen Atmosphäre verbunden ist. Die Hohlkugel hat unten eine mit dem Hahne h versehene Röhre, um die durch Condensation gebildete Flüssigkeit in den Kolben J ausfliessen zu lassen. Die kurze Röhre $i\,i'$, an welche sich das Dampfzuleitungsrohr anschliesst, hat eine etwas geneigte Lage, um das Abfliessen der in ihm condensirten Flüssigkeit in das Kugelgefäss zu erleichtern. Der Röhrentheil zwischen dem Calorimeter und dem Mantel $m\,m'$ soll möglichst kurz sein; bei Regnault's Apparat beträgt seine Länge

Digitized by Google

weniger als 1^{cm} und wurde noch mit einer Hülle aus gebranntem Thon umgeben.

Die Ausführung des Versuches geschieht in folgender Weise. Man gibt die zu untersuchende Flüssigkeit in einer hinreichenden Menge in den Kessel, — Herr Regnault wendete bei jedem Versuche ungefähr 3 Liter an. Nachdem der Kessel gut geschlossen und mit der in einem Wasserbade befindlichen Atmosphäre in Communication gesetzt worden ist, wird das Calorimeter mit einem genau bestimmten Volum Wasser gefüllt. Zu diesem letzten Zwecke dient der geaichte Glasballon B, welcher unten ein mit einem Hahn versehenes Ausflussrohr besitzt, der Ballon wird mittelst des Rohres $s\,s'$ in das Calorimeter ausgeleert. Man nimmt das Calorimeterwasser von einer Temperatur, die zwar niedriger als jene der umgebenden Luft ist, aber noch keinen Niederschlag an der äusseren Wand des Gefässes veranlasst. Der Rührer des Calorimeters wird in gleichförmige Bewegung versetzt und die Flüssigkeit zum Sieden gebracht, wobei der Dampfvertheilungshahn K stets geschlossen bleibt. Dabei wird die im Apparate enthaltene Luft in den Condensator getrieben.

Ist die Flüssigkeit in's Sieden gerathen, so regelt man die Flamme unter dem Kessel derart, dass das Sieden und die Destillation regelmässig andauert und beobachtet während zehn Minuten den Gang des Thermometers T im Calorimeter. Wenn Θ_1 die mittlere Temperatur des Calorimeters während dieser Zeit und t_1 jene der umgebenden Luft ist, so hat man für die Temperaturänderung $\Delta\Theta$, welche das Calorimeter in einer Minute dieser Periode in Folge der verschiedenen störenden Einflüsse erleidet, die Gleichung

$$\Delta\Theta = A\,(\Theta_1 - t_1) + K,$$

worin A und K zwei Grössen sind, welche für jeden Versuch speciell bestimmt werden müssen.

Nach Ablauf der zehn Minuten wird der Hahn K geöffnet und das Manometer abgelesen. Man beurtheilt die Menge des im Calorimeter condensirten Dampfes nach dem Gange des Thermometers T, das man von Minute zu Minute abliest. Sobald die entsprechende Temperaturerhöhung im Calorimeter eingetreten ist, wird der Hahn R Fig. 31 Taf. XXI geschlossen, so dass wieder der ganze Dampf in den Condensator übergeht. In diesem Momente wird abermals das Manometer abgelesen; das Mittel aus den beiden Manometerständen gibt den Druck, unter welchem das Sieden der Flüssigkeit erfolgte. Mit Hülfe der

Digitized by Google

Hähne R und h, kann man natürlich die Menge des in einer gewissen Zeit in das Calorimeter übergetretenen Dampfes nach Belieben regeln. Die Beobachtungen am Thermometer T werden nach Schliessung des Hahnes R noch so lange fortgesetzt, bis sich die Temperaturen der condensirten Flüssigkeit und des Condensatorwassers ausgeglichen haben. Ist dieses geschehen, so wirken nur noch die störenden äusseren Ursachen, zu deren Eliminirung man das Thermometer T während weiterer 10 Minuten beobachtet. Zeigen dabei T die mittlere Temperatur Θ_2 und die umgebende Luft die mittlere Temperatur t_2, so hat für die Temperaturänderung $\Delta\Theta'$ in einer der letzten zehn Minuten

$$\Delta\Theta' = A\,(\Theta_2 - t_2) + K.$$

Aus dieser und der früheren Gleichung lassen sich nun die Grössen A und K bestimmen.

Die im Calorimeter condensirte Flüssigkeit wird im Ballon I gesammelt. Man thut gut, den Hahn h_2 nur langsam zu öffnen, weil die Flüssigkeit mit grosser Geschwindigkeit austritt, wenn der im Apparate herrschende Druck einigermassen gross ist. An der plötzlich auftretenden Luft erkennt man, dass das Calorimeter geleert ist. Nichtsdestoweniger wird h_2 nach zehn Minuten nochmals geöffnet, um noch die Flüssigkeit zu sammeln, welche unterdessen von der Calorimeterwandung abgeflossen. Die kleine Flüssigkeitsmenge, welche ausserdem noch an den Wänden hängen bleibt, wird als in allen Versuchen gleich bleibend angesehen. Die Temperatur und das Gewicht der in I gesammelten Flüssigkeit werden sorgfältig bestimmt. Die erstere ist stets etwas niedriger als das Temperaturmaximum des Calorimeters; die Flüssigkeit erleidet nämlich beim Ausfliessen stets einen kleinen Temperaturverlust. Um das Gewicht der condensirten Flüssigkeitsmenge möglichst genau zu erhalten, hatte Herr Regnault am Gefässe I die Einrichtung getroffen, dass die von der gleichzeitig aus dem Calorimeter tretenden Luft etwa mitgerissenen Dämpfe absorbirt werden.

Ist nun M der Wasserwerth des Calorimeters und des in ihm befindlichen Wassers,

Θ die Temperatur des Calorimeters in dem Augenblicke, wo der Hahn R geöffnet wird,

Θ' die Temperatur des Calorimeters in dem Momente nach Schliessung des Hahnes R, wo die Temperaturen der condensirten Flüssigkeit und des Calorimeterwassers sich ausgeglichen haben,

Digitized by Google

P das Gewicht der im Calorimeter condensirten Flüssigkeit und λ die Wärmemenge, welche die Gewichtseinheit Dampf abgegeben hat, so erhält man die Gleichung

$$P\lambda = M\,(\Theta' - \Theta - \Sigma\Delta\Theta).$$

Die Grösse $\Sigma\Delta\Theta$ bestimmt sich, indem man mittels der für A und K gefundenen Werthe die Temperaturänderung berechnet, welche das Calorimeter in folgenden störenden äusseren Ursachen in jeder einzelnen Minute der Versuchsdauer erleidet.

Die im Vorhergehenden beschriebenen Apparate hat Herr J. Silbermann für die technische Lehranstalt in Reggio durch Mechaniker Herrn Guillot, Paris 35, Rue du Faubourg St. Jacques ausführen lassen. Mit Inbegriff jener Theile, welche erforderlich sind, um den Destillationsapparat für Quecksilber, Fig. 33 Taf. XII, den Popin'schen Topf, Fig. 34 Taf. XIII und den Heronsball, Fig. 35 Taf. XII, herzustellen, kostet die ganze Reihe von Apparaten ungefähr 2000 Frcs. Die Verwendbarkeit dieser Apparatensammlung liesse sich durch entsprechende Zuthaten noch erhöhen. Man könnte dieselbe z. B. zur Vergleichung der verschiedenen Arten von Manometern, Sicherheitsventilen, zu Untersuchungen über die Dichte der Dämpfe, über die Porosität fester Körper, über den Ausfluss von Gasen u. s. w. benutzen.

Digitized by Google

Theorie der Fehler des Prismenkreises von Pistor und Martins.

Von

Professor Dr. **Zech.**

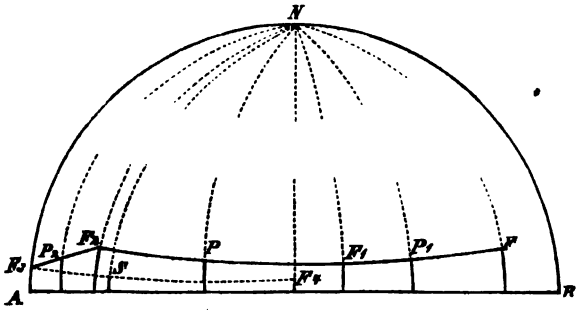
1. Bohnenberger hat in seinem Werke über geographische Ortsbestimmung zuerst eine Theorie der Fehler des Spiegelsextanten gegeben, indem er jeden Fehler für sich — unter der Voraussetzung dass die andern nicht existiren — betrachtete; er zeigte wie der einzelne Fehler bestimmt, sein Einfluss auf die abgelesenen Winkel berechnet und wie er corrigirt wird. Encke hat im Berliner astronomischen Jahrbuch den Einfluss aller vorkommenden Fehler in ihrer gleichzeitigen Einwirkung auf den abgelesenen Winkel festgestellt. Er findet einen Ausdruck von sechs Gliedern, drei multiplicirt mit den Quadraten je eines, die andern drei mit den Producten je zweier der betrachteten Fehler — der falschen Lage des Fernrohrs, des grossen und des kleinen Spiegels. Die Correction enthält also nur Kleine zweiter Ordnung und darin besteht der grosse Werth des Instruments: selbst wenn es schlecht justirt ist, lassen sich doch noch gute Beobachtungen machen. Weil aber nur Kleine zweiter Ordnung vorkommen, so kann Bohnenbergers Untersuchung nicht genügen; denn wenn er immer nur einen Fehler in Betracht zieht, die andern gleich Null setzt, so gehen ihm die Glieder verloren, in welchen der betrachtete Fehler mit einem andern multiplicirt ist.

Dass die Correction des abgelesenen Winkels nur Kleine zweiter Ordnung enthält, hat seinen Grund darin, dass bei jeder Beobachtungsreihe die Lage des Nullpunkts der Theilung neu bestimmt und daher die der Theilungsebene parallele Verschiebung der Fernrohraxe und der Spiegelnormalen eliminirt wird. Es bleiben also nur die drei Fehler übrig, die darin bestehen, dass jene drei gerade mit der Theilungsebene kleine Winkel bilden, statt ihr parallel zu sein, oder dass die Ebenen der wirklichen Winkel etwas gegen die Ebene der abge-

Digitized by Google

lesenen Winkel geneigt sind: der Fehler hiebei ist ein Kleines zweiter Ordnung, weil der Cosinus eines kleinen Winkels nur um ein solches von der Einheit verschieden ist.

Es liegt in der Natur der Sache, dass die Theorie des Prismenkreises von der des Spiegelsextanten wenig verschieden ist, dass der Unterschied nur in der Ersetzung des kleinen Spiegels durch ein Prisma beruht. Nichts desto weniger wird es der Mühe werth seyn, mit Rücksicht darauf Encke's Formel abzuändern, insbesondere wenn noch, was im Folgenden geschehen soll und was Encke nicht ausgeführt hat, an der Hand der erhaltenen Formel gezeigt wird, wie durch Beobachtungen mit dem Prismenkreise selbst die einzelnen Fehler bestimmt werden können, so weit es zur Beurtheilung des Gesammtfehlers des abgelesenen Winkels nöthig ist.



2. So lange nur sehr entfernte Gegenstände beobachtet werden, handelt es sich nur um Richtungen, nicht um die absolute Lage. Man kann also alle vorkommenden Richtungen parallel durch den Mittelpunct einer Kugel legen und jede Richtung durch den Punct bestimmen, in welchem sie die Kugel trifft. Der grösste Kreis AB stelle die Theilungsebene vor, N sei ihr Pol. P bestimme die Normale der Hypothenusenfläche des Prisma, P_1 und P_2 die Normalen der zwei Kathetenflächen, endlich S die veränderliche Spiegelnormale.

Diese vier Puncte dienen dazu, den Weg eines nach zweimaliger Brechung und zweimaliger Zurückwerfung in das Fernrohr gelangenden Strahls zu verfolgen. Ist F die Richtung des Strahls nach dem Austritt aus dem Prisma, F_1 vor dem Austritt, F_2 nach dem Eintritt, und F_3 vor dem Eintritt, so liegen je zwei aufeinanderfolgende F mit einem P auf einem grössten Kreise und es ist (wenn n der Brechungscoefficient des Glases ist):

$$\sin FP_1 = n \sin F_1P_1 \; ; \; F_1P = F_2P \; ; \; \sin F_3P_2 = n \sin F_2P_2.$$

Digitized by Google

F_3 ist die Richtung des vom Spiegel zurückgeworfenen Strahls, der einfallende ist also durch den Punkt F_4 bestimmt, welcher auf dem Bogen F_3S von S so weit entfernt ist als F_3.

Die Abstände aller dieser Puncte von der Theilungsebene AB sind kleine Grössen, die mit den entsprechenden kleinen Buchstaben bezeichnet werden sollen. Beziehungen zwischen ihnen ergeben sich aus der Betrachtung der Dreiecke mit zwei Seiten NF und einer Transversale NP. Man hat z. B. im Dreieck FNF_1 für die zwei Theildreiecke:

$$\cos NF = \cos P_1N \cos P_1F + \sin P_1N \sin P_1F \cos NP_1F$$
$$\cos NF_1 = \cos P_1N \cos P_1F_1 + \sin P_1N \sin P_1F_1 \cos NP_1F_1$$

und weil:

$$\cos NP_1F = -\cos NP_1F_1 \text{ und } \sin P_1F = n \sin P_1F_1$$

ist, so folgt:

$$\cos NF + n \cos NF_1 = \cos P_1N \left\{\cos P_1F + n \cos P_1F_1\right\}$$

oder, nach Einführung der kleinen Abstände f und p der Puncte F und P von der Theilungsebene, mit Vernachlässigung der Kleinen dritter und höherer Ordnung:

$$(1.)\ f + nf_1 = p_1 \left\{\cos P_1F + n \cos P_1F_1\right\} = Ap_1$$

Ganz ebenso gibt das Dreieck F_2NF_3 die Gleichung:

$$(2.)\ f_2 + nf_3 = p_2 \left\{\cos P_2F_2 + n \cos P_2F_3\right\} = A'p_2$$

und die Dreiecke F_1NF_2 und F_3NF_4 geben, wenn man $n = 1$ setzt, in derselben Weise:

$$(3.)\ f_1 + f_2 = p \left\{\cos PF_1 + \cos PF_2\right\} = Bp$$

$$(4.)\ f_3 + f_4 = s \left\{\cos SF_3 + \cos SF_4\right\} = Cs.$$

Die Werthe, die ich der Kürze wegen mit A, A' und B bezeichnet habe, sind constant, so lange F dieselbe Lage hat. Aber auch wenn diese Lage innerhalb des Gesichtsfelds des Fernrohrs wechselt, ist ihre Aenderung nur klein und da im Folgenden die f nur mit Kleinen erster Ordnung multiplicirt erscheinen, so kann man auch für verschiedene Lagen von F jene Werthe als constant betrachten. C dagegen ist veränderlich mit der Stellung des Spiegels. Bezeichnet man mit β und β' die Projectionen der zwei gleichen Bögen SF_3 und SF_4 auf die Theilungsebene oder was dasselbe ist, die Winkel F_3NS und F_4NS, so kann man immer 2 cos β statt C setzen, weil β und β' unter sich und von den gleichen Bögen SF_3

Digitized by Google

und SF_4 wenig verschieden sind; und weil aus demselben Grund wie vorher C nur genähert zu bestimmen ist. Setzt man noch:

$$D = Ap_1 + A'p_2 - nBp$$

so ergibt sich aus den Gleichungen (1.) bis (4.):

(5.) $f_3 = D - f$ und $f_4 = f - D + Cs$

Gleichungen, die später werden benützt werden.

3. Wenn im Fernrohr die Bilder zweier Puncte zusammenfallen und die Richtung des direct gesehenen F ist, so ist F_4 die Richtung des auf dem Umweg gesehenen, und der Bogen $F_4F = 2\alpha$ ist der zu messende Winkel. Hätte das Instrument keinen Fehler, so wäre der abgelesene Winkel der zwischen der Spiegelnormale und der Normale der Hypotenusenfläche enthaltene. In der That aber wird die Projection dieses Winkels abgelesen, nehmlich $PNS = PNF_3 - SNF_3$, oder $\omega = \mu - \beta$, wenn man mit μ den Winkel PNF_3 bezeichnet. Da die Theilung mit den doppelten Werthen bezeichnet ist, so ist der mit diesen Werthen abgelesene Winkel $2\omega = 2\mu\ 2\beta$, und es ist nun der Unterschied von α und ω zu bestimmen.

Das Dreieck NFF_4 gibt die Gleichung:

$$\cos 2\alpha = \cos NF \cos NF_4 + \sin NF \sin NF_4 \cos FNF_4$$
$$= ff_4 + \left\{1 - \tfrac{1}{2}f^2 - \tfrac{1}{2}f_4^2\right\} \cos(\mu + \mu' - \beta - \beta')$$

wo μ' den Winkel FNP bezeichnet. Dieser Winkel ist constant, wenn man immer an derselben Stelle des Gesichtsfelds, also am besten in der Mitte, wo das Bild am schärfsten ist, beobachtet. Ferner ist $(\mu + \mu')$ wenig von 2μ verschieden. Man kann also auch $2\omega = \mu + \mu' - 2\beta$ als abgelesenen Winkel betrachten, wenn man die constante kleine Differenz von μ und μ' in den Fehler des Nullpuncts einrechnet. Dagegen ist dies nicht möglich bei β', weil dieses veränderlich ist. Die kleine Differenz $\beta - \beta'$ ist Function des veränderlichen Winkels β, kann also eben wegen ihrer Veränderlichkeit nicht in den Fehler des Nullpunkts eingerechnet werden, sondern ist besonders zu bestimmen. Dies geschieht durch Betrachtung der Dreiecke F_3NS und F_4NS, die ganz ähnlich wie eben das Dreieck NFF_4 die Gleichungen geben:

$$\cos F_3S = sf_3 + \left\{1 - \tfrac{1}{2}s^2 - \tfrac{1}{2}f_3^2\right\} \cos\beta$$
$$\cos F_4S = sf_4 + \left\{1 - \tfrac{1}{2}s^2 - \tfrac{1}{2}f_4^2\right\} \cos\beta'$$

und da $F_3S = F_4S$ ist, und in Gliedern, die mit Kleinen zweiter Ordnung multiplicirt sind, β' und β vertauscht werden können, so folgt:

Digitized by Google

$$0 = s(f_3 - f_4) + \cos\beta - \cos\beta' - \tfrac{1}{2}\{f_3^2 - f_4^2\}\cos\beta$$

$$0 = s(f_3 - f_4) + \sin\frac{\beta' - \beta}{2}\sin\frac{\beta' + \beta}{2} - \tfrac{1}{2}(f_3 - f_4)(f_3 + f_4)\cos\beta$$

Substituirt man hier aus (4.) den Werth von $(f_3 + f_4)$ und dann noch den Werth von C, so ergibt sich für den kleinen Werth $(\beta - \beta')$ die Gleichung:

$$\beta - \beta' = s(f_3 - f_4)\sin\beta.$$

Eliminirt man β' vermittelst dieser Gleichung aus dem Werth von $\cos 2\alpha$, so erhält man nach einigen Umformungen:

$$\cos 2\alpha = \cos 2\omega - s(f_3 - f_4)\sin\beta\sin 2\omega + ff_4 - \tfrac{1}{2}(f^2 + f_4^2)\cos 2\omega.$$

Setzt man noch

$$2\alpha = 2\omega + \triangle$$

so dass $\triangle$ die zum abgelesenen Winkel 2ω zu addirende Correction bedeutet, so hat man schliesslich:

$$(6.)\quad \triangle\sin 2\omega + \tfrac{1}{2}\triangle^2\cos 2\omega = s(f_3 - f_4)\sin\beta\sin 2\omega - ff_4 + \tfrac{1}{2}(f^2 + f_4^2)\cos 2\omega.$$

wobei die Kleinen dritter und höherer Ordnung vernachlässigt sind.

4. Die Gleichung (6.) enthält ausser dem Winkel 2ω, der abgelesen wird, noch den Winkel $\beta = \mu - \omega$, der also bekannt ist, wenn man μ kennt, ferner die kleinen Winkel s, f, f_3 und f_4, von denen die zwei letzten nach (5.) in D, s, f und β sich ausdrücken lassen, so dass zur Bestimmung von $\triangle$ jene vier Werthe bekannt seyn müssen. Sind diese Werthe bestimmt, so kann man die Grösse der Correction bestimmen. Ist das Instrument nur einigermassen justirt, so ist die Correction kleiner, als der Ablesungsfehler, so dass eine Correction überhaupt nicht nöthig ist. Es wird sich also nur darum handeln, den ungefähren Betrag von $\triangle$ zu finden, um zu sehen, ob eine weitere Justirung des Instruments nöthig ist. Die zu diesem Zweck zu machenden Beobachtungen sind folgende:

Man suche, nachdem auf Null eingestellt ist, die zwei Bilder eines Himmelskörpers zum Decken zu bringen: der kleinste Abstand, den man erreichen kann, ist der Werth von $(f - f_4)$ für $\omega = o$. Wenn nämlich das directe Bild unter der Neigung f gesehen wird, so fallen unter diesem Winkel auch die Strahlen, die das andere Bild geben, auf den Spiegel. Verfolgt man diese Strahlen von Spiegel bis zum Fernrohr, wie in Nr. (2.) und bezeichnet die neuen Richtungen mit

Digitized by Google

gestrichelten f, so erhält man für diese genau dieselben Gleichungen wie in Nr. (2.), also auch:

$$f' - f'_4 = D - 2s \cos \mu.$$

weil für den betrachteten Fall $\omega = o$, also $\beta = \mu$ ist. f'_4 ist aber nichts anders als f, also ist:

$$f' - f = D - 2s \cos \mu = (f - f_4)_{(\omega = o)}.$$

Dieses Resultat lässt sich erwarten, da alle F sehr wenig von der Theilungsebene abstehen: wird F_4 gegen die Theilungsebene wenig verschoben, so wird F_3 in entgegengesetzter Richtung verschoben, und F in entgegengesetzter Richtung von F_3 und beide jedesmal gleich viel, da die zwei ersten Puncte zu S, die zwei letzten zu P symmetrisch liegen. Oder auf unsern Fall angewendet: F und F' haben denselben Abstand, wie F_4 und F'_4.

Dass der Abstand der kleinste wird für $\omega = o$, ergibt sich aus Gleichung (6.). Wenn nämlich ω nahezu Null ist (oder nur einige Minuten), so kann man statt cos 2ω die Einheit setzen und das erste Glied rechts, als Klein dritter Ordnung vernachlässigen und findet:

$$(\triangle + 2\omega)^2 = (2\alpha)^2 = (f - f_4)^2 + 4\omega^2$$

d. h. zwei im Fernrohr zusammenfallende Puncte bilden in Wirklichkeit den Winkel $\sqrt{(f - f_4)^2 + 4\omega^2}$. Dies ist aber zugleich der Winkel, den die zwei Bilder desselben Gegenstands bilden, weil eine kleine Verschiebung von F dieselbe bei F_4 hervorbringt. Der kleinste Abstand ist also $(f - f_4)$ für $\omega = o$. Hat man den kleinsten Abstand erreicht, so ist damit auch die Lage des Nullpuncts bestimmt.

Da aber in der Nähe des Minimums der Abstand sehr langsam sich ändert, so wird eine scharfe Einstellung nie möglich seyn, so lange die Bilder nicht zusammenfallen oder

$$D - 2s \cos \mu = o.$$

ist. Dies lässt sich aber jederzeit erreichen, entweder indem man s oder indem man D ändert. Die Lage des Spiegels lässt sich auf die bekannte Weise, indem man zusieht, ob das Spiegelbild des Theilungskreises als Fortsetzung des wirklichen Kreises erscheint, sehr genau (jedenfalls bis einige Minuten) corrigiren. Also wird der Fehler $(f - f_4)$ hauptsächlich von D herrühren, d. h. von der Lage des Prisma. Durch Anziehen oder Lüften seiner Correctionsschrauben wird p, p_1 und p_2 geändert, also auch D, man kann also der obigen Gleichung genügen.

Digitized by Google

Für sehr kleine abgelesene Winkel wird jetzt $\triangle = 0$ seyn, für grössere aber kann man, wenn sie einige Minuten übersteigen, das zweite Glied links in Gleichung (6.) vernachlässigen und erhält, wenn man f statt f_4 setzt, den Werth von f_3 aus (5.) substituirt und $2s\cos\mu$ für D schreibt, die Gleichung:

$$(7.)\ \triangle = 2s\,(s\cos\mu - f)\sin\beta - f^2\,tg\,\omega.$$

5. Es handelt sich jetzt noch darum, s, f und μ zu bestimmen, um für jeden Winkel ω die Correction angeben zu können. Dies geschieht durch Beobachtungen, bei denen besonders einfache Verhältnisse stattfinden, so dass man einzelne Unbekannte zum Voraus kennt. Das ist der Fall, wenn der auf den Spiegel auffallende Strahl am wenigsten von dem zurückgeworfenen abweicht, oder wenn die drei Punkte F_3, F_4 und S auf einem grössten Kreise durch N liegen, also $\beta = o$ ist; und zweitens wenn S und F auf demselben grössten Kreis durch N liegen.

a. Im ersten Fall trifft ein Strahl, der im Fernrohr durch die Richtung F bestimmt ist, den Spiegel in der Richtung F_3, wird von diesen in der Richtung F_4 zurückgeworfen und macht nun nahezu wieder denselben Weg durch Prisma und Fernrohr. In diesem komme er mit der Richtung F' an. Nach dem in Nr. 4. Bemerkten werden nun F und F' sehr nahe auf demselben grössten Kreis durch N liegen und ihr Abstand ist gleich dem von F_3 und F_4. Um diese Beobachtung machen zu können, ist es nöthig, Licht durch das Fernrohr in der Richtung vom Ocular zum Objectiv zu schicken, was geschieht, indem man durch ein ungefähr unter 45^0 gegen die Fernrohraxe geneigtes planparalleles Glasplättchen von der Seite her kommendes Licht in der Richtung der Fernrohraxe zurückwerfen lässt. Diese Lichtstrahlen geben ein im Fernrohr sichtbares Bild des erleuchteten Gesichtsfelds und der dunkeln Fäden. Stellt man die Fäden senkrecht zur Theilungsebene und lässt ihr Bild mit ihnen zusammenfallen, so ist jetzt $\beta = o$, also der abgelesene Winkel gleich 2μ (bei meinem Exemplar nahe 140^0. Zu bemerken ist, dass μ nur genähert bekannt zu seyn braucht, da es immer mit Kleinen zweiter Ordnung multiplicirt ist).

Stellt man dagegen in derselben Lage des Spiegels die Fäden parallel zur Theilungsebene, so fallen die Bilder der Fäden nicht mehr mit diesen zusammen. Ihr Abstand ist nach dem Obigen f der Werth von $(f_3 - f_4)$ für $\beta = o$, positiv zu nehmen, wenn das Bild im Fern-

Digitized by Google

rohr näher an der Theilungsebene liegt, als der Faden. Der Winkel jedes Fadens mit seinem Bild werde mit 2φ bezeichnet. Er kann geschätzt werden durch Vergleichung mit dem Abstand der zwei Fäden*), und man hat:

$$(8.)\quad \varphi = \tfrac{1}{2}(f_3 - f_4)_{\mu=\omega} = s(2\cos\mu - 1) - f.$$

b. Im zweiten Fall würde, wenn das Instrument dies zuliesse, ein Strahl im Fernrohr mit der Richtung F, ohne durch das Prisma zu gehen, direkt den Spiegel treffen können und würde nach einer Richtung F' zurückgeworfen, die in Beziehung auf S zu F symetrisch läge. Stellte man die Fäden senkrecht zur Theilungsebene, beleuchtete sie von vorn und liesse ihr Bild mit ihnen zusammenfallen, so lägen F, S und F' auf einem grössten Kreis durch N und würden nun die Fäden der Theilungsebene parallel gestellt, so würde der Abstand von Bild und Faden, der sich wieder aus der Fadendistanz schätzen liesse, der Werth von $2(f-s)$ sein, so dass nun alle Unbekannte bestimmt wären. Die Construction des Instruments macht aber diese Beobachtung unmöglich; es bleibt also nur übrig, f direkt zu bestimmen, wie beim Spiegelsextanten; indem man längs des festgestellten Theilkreises nach einem sehr entfernten Gegenstand visirt und bei zur Theilungsebene parallel gestellten Fäden den Abstand des im Fernrohr gesehenen Bildes des Gegenstandes von der Mitte des Gesichtsfeldes schätzt; positiv ist dieser Abstand f zu nehmen, wenn das Bild von der Theilungsebene entfernter liegt als die Mitte des Gesichtsfeldes. (Diese Bestimmung ist jedenfalls weniger genau als die oben angedeutete und es würde sich fragen, ob nicht eine kleine Abänderung der Construction jene Beobachtung möglich machen würde.)

Hat man f bestimmt, so ergibt sich s aus (8) und da μ und $\beta = \mu - \omega$ für jeden Winkel bekannt ist, so kann man jetzt $\triangle$ für jeden abgelesenen Winkel bestimmen.

6. Würde diese Correction für irgend einen abgelesenen Winkel ungefähr 10 Secunden betragen, so müsste s oder f oder beide cor-

*) Dieser Abstand wird erhalten, wenn man die Fäden senkrecht zur Theilungsebene stellt und das directe Bild eines Himmelskörpers mit dem ersten Faden, das andere mit dem zweiten in Berührung bringt und abliest; dann das directe Bild mit dem zweiten, das andere mit dem ersten und wieder abliest. Das Mittel beider Ablesungen gibt unabhängig vom Fehler des Nullpuncts die Fadendistanz (der halbe Unterschied den Fehler des Nullpunkts).

Digitized by Google

rigirt werden. Bei s geschieht es auf die bekannte Weise, bei f indem man den Werth von φ möglichst klein zu machen sucht durch Aenderung der Lage des Fernrohrs.

Zu bemerken habe ich nur noch bei der Berechnung von $\triangle$ aus Gleichung (7.), dass links ein Kleines erster Ordnung, rechts Kleine zweiter Ordnung stehen. Drückt man also, was am bequemsten ist, f und s in Minuten aus, so hat man die rechte Seite mit dem Sinus von einer Minute zu multipliciren, um $\triangle$ ebenfalls in Minuten zu erhalten. Werden dagegen f und s in Secunden ausgedrückt, so ist rechts mit dem Sinus einer Secunde zu multipliciren, um $\triangle$ in Secunden zu erhalten.

Digitized by Google

Ueber die persönlichen Gleichungen.

Von

R. Radau.

(Fortsetzung und Schluss von pag. 321 des I. Bandes.)

Diese Idee, welche zuerst von Prazmowski ausgegangen ist, wurde im Jahre 1862 von Plantamour und Hirsch zu Genf und im Jahre 1864 von Wolf am Observatorium zu Paris wirklich angewendet.

Man findet den detaillirten Bericht der Versuche der beiden Schweizer Astronomen in ihrer Abhandlung über die telegraphische Bestimmung des Längenunterschiedes zwischen den Sternwarten zu Genf und Neufchâtel.[1])

Hirsch und Plantamour hatten von Anfang an jeden Einfluss, welchen das physiologische Element auf das Resultat ihrer Arbeit haben konnte, in Rechnung gezogen; auch hatten sie besondere Sorgfalt auf die Bestimmung ihrer persönlichen Gleichung verwendet. Sie hätten versuchen können, sich hiervon unabhängig zu machen, indem sie nach einer bestimmten Reihe von Beobachtungen ihre Stationen verändert hätten; allein das Mittel aus den beiden Beobachtungsreihen hätte nur dann als der wahre Werth für die Längendifferenz betrachtet werden können, wenn man annimmt, dass die Personalgleichung auch constant bliebe, es mag jeder der Beobachter mit einem fremden Instrumente beobachten oder mit dem seinigen, an das er sich bereits gewöhnt hat. Diese Methode bietet überdies den Nachtheil, dass die beiden Astronomen zugleich ihren Standpunkt wechseln müssen; jeder von ihnen befindet sich ungewöhnt in einem fremden Observatorium und die Regelmässigkeit der Beobachtungen muss dabei leiden. Uebrigens wurden Hirsch und Plantamour durch die obwaltenden

1) Détermination télégraphique etc. Genève et Bâle 1864, Chez H. Georg in 4, avec 4 planches.

Digitized by Google

Umstände verhindert, zu diesem Mittel ihre Zuflucht zu nehmen. Sie haben sich deshalb entschlossen, in ganz unabhängiger Weise ihre beiderseitige Personalgleichung zu bestimmen und das Resultat darnach zu verbessern. Dies führten sie mittelst der gewöhnlichen astronomischen Beobachtungen und sodann durch ein Verfahren aus, das die absolute Correction eines jeden Beobachters zu bestimmen gestattete.

Am 23. Mai 1861 beobachteten unsere beiden Astronomen mit einander zu Genf neun Sterne, von denen sieben von Plantamour allein bereits am 21. beobachtet waren; von diesen sieben hat Plantamour vier, Hirsch drei genommen, die beiden anderen wurden von beiden beobachtet, indem sie verschiedene Fäden nahmen. Die aus diesen neun Vergleichungen abgeleitete Personalgleichung gab

$$\text{Plantamour} - \text{Hirsch} = + 0,''082.$$

Das Zeichen ist hier im Sinne der Correction und nicht des Fehlers genommen, wie wir es bisher gethan haben (selbst bei den Daten für die englischen Astronomen). Die verschiedenen Grössen müssen einfach mit ihren Zeichen hinzugefügt werden; die absolute physiologische Correction ist immer negativ, es sei denn, dass dabei eine Anticipation statthabe; und da sie stärker für Hirsch als für Plantamour ist d. h. da Hirsch später als Plantamour beobachtet hat, so ist die Gleichung Pl. — H. positiv.

Dieses Verfahren, nach welchem zwei Astronomen abwechselnd den Durchgang desselben Sternes an verschiedenen Fäden des Fernrohres beobachten, ist sicher dem andern vorzuziehen, wo sie abwechselnd verschiedene Sterne beobachten, die früher schon von dem einen von ihnen beobachtet waren, denn das erstere Verfahren ist unabhängig von dem Gange der Uhr und den Veränderungen der Correctionen des Instrumentes. Besonders bemerklich wird dieser Vorzug, wenn das Fernrohr eine grosse Anzahl Fäden besitzt. Plantamour und Hirsch wandten denn auch dieses Verfahren ausschliesslich in den Nächten vom 16. Oktober 1861 und 26. April 1862 an, wo sie mit einander an dem Meridianfernrohre zu Neufchâtel das erstemal drei und zwanzig, das zweitemal zwei und vierzig Sterne beobachteten. Um die Fehler der Fadendistanzen zu eliminiren, wechselten sie immer in der Weise, dass wenn ein Stern von Plantamour an den zehn ersten Fäden und von Hirsch an den zehn letzten beobachtet worden war, bei dem folgenden Stern Hirsch die zehn ersten und Plantamour die zehn letzten genommen hat. Unglücklicherweise war der

Digitized by Google

Himmel in der Nacht des 16. October wenig günstig: der mittlere Werth der Personalgleichung, aus den 23 Sternen des 16. October gezogen, war

$$+ 0^s,202 \pm 0^s,020.$$

Die einzelnen Werthe schwankten zwischen $+ 0,^s008$ und $+ 0,^s413$. Am 26. April war die mittlere Gleichung

$$+ 0^s,130 \pm 0^s,008.$$

Die beobachteten Werthe schwankten zwischen $+ 0,^s068$ und $+ 0^s,220$ d. h. viel weniger als das erstemal. Doch war die Aenderung der Personalgleichung noch sehr merklich und was am meisten frappirt, ist der Wechsel, dem sie vom 23. Mai bis 16. October und vom 16. October bis zum darauffolgenden 26. April unterlag. Dieser Wechsel muss übrigens in Beziehung zu den atmosphärischen Umständen stehen, denn wenn die Bilder der Sterne schwanken, so muss nothwendig einige Unsicherheit für den Moment der Bissection beim Beobachter vorhanden sein, wo er den Schlüssel anziehen soll, um den Strom zu schliessen. Diese Unsicherheit (oder dieser Aufenthalt), von dessen wirklicher Existenz man sich namentlich bei den Polarsternen auf sehr unzweideutige Weise überzeugen kann, kommt noch hinzu zu der normalen physiologischen Zeit, die für die Operationen der Gesichtsfunctionen, der Nerventhätigkeit und der Bewegung des Fingers erforderlich ist, und erzeugt so eine mehr oder weniger beträchtliche Aenderung in der Personalgleichung nicht blos von einer Epoche zur andern, sondern auch von einem Stern zum nächstfolgenden.

Es ist vielleicht die Bemerkung nicht unnütz, dass die Correctionsmethode, um die es sich hier handelt (Wechsel der Fäden), für die Bestimmung von Längendifferenzen nicht mehr Sicherheit bezüglich der Veränderlichkeit des persönlichen Fehlers als die alte Methode (Wechsel der Stationen) bietet. Die Differenz, welche man finden wird bei der Art, wie zwei Astronomen an demselben Instrumente beobachten, wird in der That nicht dieselbe sein, als wenn Jeder mit seinem eigenen Instrumente die Durchgänge beobachtete; es wird also genau genommen nicht gestattet sein, sie auf Längenbestimmungen anzuwenden.

Wie dem auch sein mag, Hirsch und Plantamour haben sich nicht damit begnügt; sie sind noch an die Bestimmungen ihrer absoluten physiologischen Correctionen mittelst eines eigenen Apparates

Digitized by Google

gegangen, den Hirsch für seine Versuche über die Fortpflanzungsgeschwindigkeit unserer Empfindungen construirt hat.[1])

Die astronomischen Beobachtungen waren mit zwei Chronographen ausgeführt worden, die von Hipp zu Neufchâtel construirt waren und bei welcher als Regulator für das Räderwerk die Hipp'sche vibrirende Feder dient, deren regulirende Wirkung jeder Art von Flügeln und vielleicht auch dem conischen Pendel vorzuziehen ist.[2]) Die hier in Frage stehenden Experimente wurden jedoch mit einem Hipp'schen Chronoscope angestellt, das Tausendtel-Secunden direct und mit grosser Genauigkeit zu messen gestattet.

Das Chronoscop ist ein Uhrwerk, das durch ein Gewicht bewegt und durch die vibrirende Feder wie bei den Chronographen regulirt wird; nur macht hier die Feder tausend Schwingungen in der Secunde. Man bringt sie mit einer Stimmgabel von tausend Schwingungen in Einklang und regulirt sie durch Versuche mit Hilfe einer sehr feinen Schraube, die an der Feder anliegt. Diese Feder legt sich an das Echappementrad so an, dass sie dasselbe in der Ruhelage kaum festhält. An der Seite befindet sich ein Auslösehebel mit drei Armen, an deren einem eine Schnur angebracht ist, welche man anzieht, wenn das Chronoscop in Gang gesetzt werden soll. Um seine Bewegung zu arretiren, reicht es hin, eine andere Schnur anzuziehen. Das Echappementrad, das mit zwanzig Zähnen versehen ist, legt fünfzig Umgänge in der Secunde zurück; es geht also in jedem Tausendtel einer Secunde ein Zahn an der Feder vorbei. Dieses Rad setzt ein zweites mit einer Geschwindigkeit von zehn Umgängen in der Secunde in Bewegung; das letztere Rad trägt einen Zeiger, der ein in hundert Theile getheiltes Zifferblatt in der Art durchläuft, dass er in jeder Tausendtel-Secunde um einen Theilstrich vorrückt. Die Bewegung wird ausserdem auf einen zweiten Zeiger übertragen, der hundertmal langsamer als der erstere geht; er durchläuft sein Zifferblatt von hundert Theilstrichen in 10 Secunden und rückt also jedesmal um einen Theilstrich vor, wenn der erste Zeiger einen ganzen Umlauf zurückgelegt hat, d. h. nach jeder Zehntelsecunde.

Das ganze Räderwerk der Zeiger, und das ist der wesentliche

1) Bulletin de la Société des scienses naturelles de Neufchâtel VI. 1. u. 2. Heft 1861.

2) Der grosse Cylinder des Neufchâteler Chronographen vollendet seine Revolutionen in je 2 Minuten, mit Abweichungen, die in der Regel nicht ein Zehntel Secunde überschreiten, also etwa bis auf ein 1200tel genau.

Digitized by Google

Punct, ist unabhängig vom Haupträderwerke, so dass das letztere fortgehen kann, ohne die Zeiger mitzunehmen, welche nur dann an der Bewegung Theil nehmen, wenn die Axe des Tausendter-Zeigers mittelst der Unterbrechung des electrischen Stromes nach vorwärts gerückt wird. Man kann es so dahin bringen, dass die Zeiger mit der ganzen Geschwindigkeit des Hauptwerkes sich drehen und zwar sobald sie sich frei bewegen und ohne dass sie vorerst die Trägheit zu überwinden haben. Es folgt daraus, dass die Zeiger sich bewegen, sobald der Strom, der in der Rolle des Electromagneten circulirt, unterbrochen ist, und dass sie stehen bleiben in dem Momente, wo der Strom wiederhergestellt ist. Das Hipp'sche Chronoscop ist also ein Instrument, welches die Anzahl der Tausendtel-Secunden misst, die zwischen dem Oeffnen und Schliessen eines electrischen Stromes verfliessen. Man kann sich desselben bedienen, um die Fallgeschwindigkeit der Körper, die Geschwindigkeit der Kanonenkugeln etc. zu messen.

Bei den Experimenten von Hirsch und Plantamour war die Aenderung eine derartige, dass die Erscheinung, welche man beobachten wollte, nämlich der Durchgang eines leuchtenden Punctes vor einem Faden, den Strom unterbrach und die Zeiger in Bewegung setzte, bis der Beobachter den Strom in dem Momente schloss, wo er den Durchgang wahrnahm, und so die Zeiger arretirte. Es ist klar, dass das Chronoscop auf diese Weise die absolute persönliche Correction oder das physiologische Zurückbleiben anzeigen musste, welches bei den astronomischen Durchgangsbeobachtungen, die nach der amerikanischen Methode angestellt sind, hereinkommt. Diese physiologische Zeit setzt sich übrigens aus drei Elementen zusammen: 1) der Zeit, die für die Perception im Auge und für die Uebertragung vom Auge zum Gehirn erforderlich ist; 2) der Wirkung des Gehirnes, welche die Empfindung in einer willkürlichen Art verwandelt; 3) der Uebertragung des willkürlichen Actes zu den Bewegungsnormen und der Ausführung der Bewegung durch die Fingermuskeln. Der Versuch gibt die Summe dieser drei Grössen.

Der von Hirsch und Plantamour angewendete Apparat gestattet in dem Meridianfernrohre künstliche Sterne zu beobachten; überdies wurde, wie wir bereits bemerkt haben, in dem Momente, wo diese Sterne wirklich über den Faden des Netzes gingen, ein electrischer Strom automatisch unterbrochen, so dass er die Zeiger des Chronoscopes in Gang setzte, die wieder arretirt wurden, wenn der Beobachter durch Andrücken des Fingers an den electrischen Schlüssel den Strom schloss.

Digitized by Google

Die nächtliche Mire der Neufchâteler Sternwarte erleichterte sehr das Instandsetzen dieser Anordnung. Man hatte nur nöthig, die Mire durch einen beweglichen, mit einem kleinen Loche versehenen Schirm zu bedecken, um im Fernrohre einen leuchtenden Punct zu sehen, der ganz und gar einem Sterne der zweiten oder dritten Grösse glich.

Eine Gussplatte, die gut auf dem Pfeiler befestigt war, auf dem sich der Gasbrenner befindet, trug die Schneide eines doppelten, gleichfalls gegossenen Pendels, das in einer zum Meridiane senkrechten Ebene oscilliren konnte. Ein Gehilfe entfernt das Pendel aus seiner verticalen Lage bis zu einem festen Puncte und lässt es dann los, ohne ihm irgend eine Geschwindigkeit zu ertheilen; man trägt übrigens Sorge dafür, dass nur die rückkehrende Oscillation zur Beobachtung verwendet wird.

Am Dache des Gebäudes für die Mire war über der Flamme eine horizontale Axe befestigt, die parallel zum Meridian gerichtet war und an ihrem vorderen Ende den Schirm mit dem Loche, der zur Bedeckung der Flamme diente, an ihrem hinteren Ende eine verticale Stange trug, welche das Pendel führte. Das Pendel führte so bei seiner Bewegung die Stange und den Schirm fort und zwar mit einer Geschwindigkeit, welche verschieden war, je nachdem man die Linse weiter oben oder unten an der Stange befestigte. Man hatte so einen leuchtenden Punct, mit regelmässiger Bewegung, dessen Durchgang man beobachten konnte.

Um die Unterbrechung des Stromes im Momente des Durchganges des Schirmes über die Verticale zu erhalten, war auf den Träger des Pendels eine Messingstange gebracht, die an zwei feinen Puncten beweglich war (wie eine Art umgekehrtes Pendel) und in ihrer verticalen Lage auf einem am Pfeiler befestigten Führer (buttoir) ruhte. Das Pendel trug einen horizontalen Arm, welcher die Stange in der Gleichgewichtslage berührte, sie bei der ersten Excursion mitführte und in der Ruhelage in dem Momente freiliess, wo das Pendel bei der rückgehenden Schwingung durch die Verticale ging. Die Stange und der Arm trugen Platinflächen, welche einen durch die Batterie und das Chronoscop gehenden Schliessungskreis schlossen. Es war so der Strom während der ganzen östlichen Schwingungsexcursion des Schirmes geschlossen und während der westlichen Excursion geöffnet. Man hatte den Apparat so regulirt, dass in der Ruhelage der Faden des Fern-

Digitized by Google

rohres mit dem künstlichen Sterne coincidirt, indem dabei der Contact der Platinflächen gerade hergestellt war.

Die Beobachtung war dann in folgender Weise angestellt worden. Der Gehilfe entfernte das Pendel aus der Verticalen und liess es hierauf los. Der Schirm bewegte sich dann in der Richtung von West nach Ost; in dem Momente, wo er zum ersten Mal durch die Verticale ging, gab der Beobachter einer dritten Person ein Zeichen, auf welches hin diese das Chronoscop in Bewegung setzte; so lange aber das Pendel auf der Ostseite der Verticalen blieb, waren die Zeiger des Chronoscops nicht beweglich. Sie setzten sich in dem Augenblicke in Bewegung, in welchem der zweite Durchgang durch die Verticale und damit eine Unterbrechung des Stromes statthatte. Der Beobachter, der im Fernrohre den Stern vor den Faden sich von Ost nach West bewegen sah, schloss den Strom mittelst des electrischen Schlüssels im Momente, wo die Bissection des leuchtenden Punctes statthatte und arretirte so die Nadeln. Die am Chronoscop befindliche Person hob dann die Bewegung auf und las an den beiden Zifferblättern die Zahl der Tausendtel-Secunden ab, um welche die Zeiger vorgerückt waren, d. h. die physiologische Correction des Beobachters. Die Winkelgeschwindigkeit des leuchtenden Punktes war bei diesen Versuchen beinahe der eines Aequatorialsternes gleich.

Folgendes sind einige unbearbeitete (brats) Resultate, welche am 4. und 5. November 1862 erhalten wurden.

Den 4. November 1862.

I. Reihe Hirsch.	II. Reihe Plantamour.			VI. Reihe Hirsch.
— 216	+ ...	— 173	— 65	— 161
— 140	+ ...	— 143	— 338	— 179
— 289	— 97	— 174	+ ...	— 159
— 118	— 29	— 77	— 121	— 160
— 362	+ ...	— 53	— 92	— 216
— 357	— 63	— 174	— 161	— 122
	+ ...	— 97	— 53	— 214
	— 74	— 207	— 115	— 146
	— 184	— 106	— 212	— 13
	— 26	— 90	— 189	— 92
	+ ...	+ ...	— 40	— 110
	+ ...	— 171	— 163	— 100

Digitized by Google

+ ...	— 159	— 168	— 201
— 143	— 150	— 129	etc.
— 256	— 90	— 115	

Den 5. November 1862.

I. Reihe Plantamour.			I. Reihe Hirsch.	
+ ...	+ ...	— 98	— 251	— 205
— 107	— 193	— 94	— 141	— 299
— 13	— 55	— 47	— 245	— 143
— 21	— 106	— 137	— 237	— 157
— 186	— 144	— 96	— 143	— 183
+ ...	+ ...	— 104	— 243	— 212
+ ...	+ ...	— 133	— 186	— 218
— 59	— 52	— 34	— 192	— 236
— 30	— 75	— 44	— 181	— 183
— 95	— 73	etc.	— 198	etc.

Diese Ziffern geben die Anzahl von Tausendtel-Secunden, um welche der Durchgang zu spät beobachtet war, oder vielmehr die aus diesen Verspätungen hergeleiteten Personalcorrectionen. Die Correction ist für die beiden Schweizer Astronomen negativ und für Plantamour sehr gering; allein dieser hat einige Mal den Durchgang im Voraus genommen, d. h. er hat den Strom geschlossen, ehe der Durchgang statthatte. In diesem Falle hat der Strom nicht durch das Pendel unterbrochen werden können und die Zeiger konnten nicht vorgerückt werden, so dass die Grösse, um welche Plantamour den Durchgang im Voraus nahm, nicht bestimmt werden konnte [1]).

Diese Anticipationen sind in vorstehender Tabelle durch mit einem + versehene Puncte angezeigt. Um sie bei der Berechnung der Mittelwerthe in Rechnung zu ziehen, wurde angenommen, dass die zufälligen Fehler symmetrisch nach beiden Seiten hin um den wahrscheinlichsten Werth gruppirt seien, den man erhalten würde, wenn man die stärksten Verspätungen in gleicher Anzahl wie die Anticipationen bei Seite liesse. Indem man dabei diesen wahrscheinlichen Mittelwerth mit dem Mittel der weggenommenen Verspätungen verglich,

1) Es ist zu bedauern, dass diese Bestimmung nicht durch eine Modification der Anordnung der Ströme in der Weise versucht wurde, dass man eine Unterbrechung durch den Schlüssel und ein Schliessen durch den Contact der Stange und des Führers (buttoir) herstellte. Die Berechnungsweise, durch welche man die directe Bestimmung ergänzt hat, lässt grosse Unzuverlässigkeit im Resultate zurück.

Digitized by Google

erhielt man den mittleren Werth der beträchtlichsten Abweichungen im Sinne der Verspätungen, und indem man diese mittlere Abweichung mit entgegengesetztem Zeichen an das wahrscheinliche Mittel anbrachte, hatte man den mittleren Werth der Anticipationen. Man fand so für den mittleren Werth einer Anticipation Plantamour's

Am 4.	November.	2.	Reihe.		0,"006
„ 4.	„	3.	„		0,015
„ 4.	„	5.	„		0,034
„ 5.	„	1.	„		0,013
„ 5.	„	4.	„		0,012

Folgende sind nun die aus diesen Beobachtungen abgeleiteten Werthe für die physiologische Correction nebst ihren mittleren Fehlern:

		Correct. Plantamour.				Correct. Hirch.	
4. Novbr.	2. Reihe.	— 0",103	± 0",013	1. Reihe	— 0",247	± 0",043
4. „	3. „	— 0,128	± 0,014	4. „	— 0,178	± 0,014
4. „	5. „	— 0,048	± 0,009	6. „	— 0,140	± 0,007
5. „	1. „	— 0,069	± 0,007	2. „	— 0,199	± 0,009
5. „	4. „	— 0,037	± 0,006	3. „	— 0,169	± 0,008
	Mittel	— 0,060	± 0,016		— 0,168	± 0,013

Daraus erhält man die Gleichung Plantamour — Hirsch = + 0",108 ± 0",021. Würde man alle Reihen eines einzigen Tages zu einem Werth vereinigen, so hätte man

	Correct. Plantamour.		Correct. Hirsch.		Plant. — Hirsch.	
4. Novbr.	— 0",088	± 0",008	— 0",160	± 0",008	+ 0",073	± 0",011
5. Novbr.	— 0,054	± 0,005	— 0,184	± 0,006	+ 0,129	± 0,008

Diese Resultate zeigen die Veränderlichkeit der persönlichen Gleichung von einer Beobachtungsreihe zur andern, oder vielmehr von einer Beobachtung zur andern (wenn man von den unbekannten Variationen des Apparates abstrahirt). Es scheint also rationeller zu sein, die Personalgleichung durch Combination aufeinanderfolgender Reihen zu berechnen und dann findet man:

							Gleichung.
4. Novbr.	1. Reihe	H.	6 Beobacht.	2. Reihe	Pl.	45 Beobacht.	+ 0",144
	3. „	Pl.	33 „	4. „	H.	19 „	+ 0,050
	5. „	Pl.	41 „	6. „	H.	41 „	+ 0,092
5. Novbr.	1. „	Pl.	54 „	2. „	H.	22 „	+ 0,131
	3. „	H.	23 „	4. „	Pl.	37 „	+ 0,133

Digitized by Google

Das Mittel ist $+ 0^s,114 \pm 0^s,019$. Diese Werthe sind von derselben Ordnung wie die, welche aus astronomischen Bestimmungen folgen. Vereinigt man das Resultat aller Beobachtungen desselben Tages zu einem einzigen Werth und gibt man diesem ein seiner mittleren Unsicherheit entsprechendes Gewicht, so bildet die Vereinigung von fünf so gefundenen Werthen für den 23. Mai und 16. October 1861, für den 26. April, den 4. und 5. November 1862 den folgenden wahrscheinlichen Mittelwerth

$$\text{Pl.} - \text{H.} = + 0^s,122 \pm 0^s,026.$$

Die Combination der nach Serien gruppirten Resultate gibt ein fast identisches Resultat, nämlich;

$$\text{Pl.} - \text{H.} = + 0^s,123 \pm 0^s,015$$

und es ist dies derjenige Werth, welcher definitiv angenommen wurde. Der mittlere Werth der zufälligen Abweichungen in derselben Reihe wurde $= 0^s,056$ gefunden; der Werth der physiologischen oder systematischen Veränderung, welcher von der Disposition der Beobachter abhängt, liegt zwischen $0^s,03$ und $0^s,04$.

Diese Veränderung schien nicht stärker zu sein am Ende des Intervalles von einem Jahre als von einem Tage zum andern und selbst von einer Stunde zur andern; es ist jedoch wahrscheinlich, dass auch eine Secularänderung in der Personalcorrection vorhanden ist, wie sie die Beobachtungen von Greenwich, Dorpat etc. ergeben haben. Soviel unterliegt keinem Zweifel, dass der persönliche Fehler eine Grösse ist, die selbst unter den gewöhnlichen Umständen wesentlichen Veränderungen unterliegt. Wir werden jedoch sehen, dass es möglich ist, ihn durch die gehörige Einübung der Beobachter constant und sehr klein zu machen.

Plantamour und Hirsch haben übrigens nicht verabsäumt, die den Registrirapparaten selbst eigenen Fehler zu studiren. Die Vergleichung der doppelten Uhrregistrirung von Genf und Neufchâtel ermöglichte ihnen, sehr interessante Untersuchungen anzustellen über die Dauer der Ströme, über die Parallaxe der Schreibfedern, über die verschiedene Wirkung der vier gebrauchten Electromagnete, über die verschiedenen Resultate, die man erhält für die Intervalle der Secunden zweier Uhren, je nachdem man sie aus den Momenten der Schliessung oder der Oeffnung der Ströme herleitet, über die mittleren Fehler des Ausziehens (relevé) und der Registrirung, über die Verschiedenheit der Zeit der Fortleitung für die inducirten und die gewöhnlichen galvani-

Digitized by Google

schen Ströme und zwar stellten sie diese Untersuchungen sowohl für verschiedene Abende als für verschiedene Beobachtungsreihen als auch in Bezug auf die Grenzen einer einzigen Combination an, die nur zwei Minuten dauerte.

Das im Augenblicke des Durchganges eines Sternes hinter jedem Faden der beiden Fernrohre gegebene Signal war von den Chronographen der beiden Stationen zugleich registrirt worden; die Durchgangsdifferenz desselben Sternes über die Meridiane der beiden Sternwarten hätte also an den beiden Chronographen identisch sein sollen, wenn die Fortpflanzung augenblicklich stattgefunden hätte. In Wirklichkeit war sie jedoch an dem einen Apparate vermindert, am anderen vermehrt, um die für die Fortleitung erforderliche Zeit, so dass der Unterschied der an den beiden Chronographen erhaltenen Werthe die doppelte Fortpflanzungszeit gab. Es wurden über diesen Punkt auch noch directe Versuche angestellt, indem man an den beiden Apparaten durch ein automatisches Verfahren die Schläge der Pendeluhren zu Genf und Neufchâtel registriren liess; die eine der Schreibfedern eines jeden Chronographen gab die ungeraden Secunden von Neufchâtel, die andere die geraden Secunden von Genf. Der Unterschied der von beiden Apparaten erhaltenen Intervalle gab die doppelte Fortpflanzungszeit. Man konnte so constatiren, dass die Fortpflanzung der Ströme beim Durchgange durch Telegraphenlinien, durch dieses Verfahren gemessen, nicht blos von der Länge des Schliessungskreises abhängt, sondern auch noch von der Isolation, sowie von der Trägheit der Apparate. Für dieselbe Linie und die gleichen Apparate fanden sich im Zeitraume von zwei Minuten Variationen von ein bis zwei Hundertel Secunden in der Fortpflanzungszeit. Die Fortpflanzungsgeschwindigkeit der beim Oeffnen inducirten Ströme war gleich 18,400 Kilometer in der Secunde gefunden mit einem wahrscheinlichen Fehler von 500 Kilometern; für die gewöhnlichen Ströme war diese Geschwindigkeit 13,900 Kilometer mit einem wahrscheinlichen Fehler von 4200 Kilometern.

Die Arbeit von Plantamour und Hirsch gibt also eine Reihe werthvoller Daten nicht blos über die physiologischen Correctionen, sondern auch noch über andere wichtige Fragen, welche damit mehr oder weniger in Verbindung stehen. Wir haben davon blos eine kurze Analyse geben können und müssen bezüglich des Details auf die Originalabhandlung der beiden Schweizer Astronomen verweisen.

Digitized by Google

Wir kommen nun zu den Untersuchungen von Wolf, welche im Jahre 1863 begonnen haben und 1864 und 1865 veröffentlicht wurden[1]). Wolf hat sich gleichfalls mit der Bestimmung der absoluten Personalcorrection beschäftigt; seine Resultate weichen übrigens sehr von denen seiner Vorgänger ab.

Der Apparat des gelehrten Physikers am (Pariser) Observatorium liess zwar eine Bestimmung der Personalcorrection sowohl für die Beobachtungsmethode mittelst electrischer Registrirung als für die gewöhnliche Methode der Schätzung mittelst des Gesichtes und Gehöres zu; er wurde jedoch blos auf die letztere Methode angewendet, während Plantamour und Hirsch gerade die erstere Methode für die Bestimmung ihrer Personalcorrectionen anwendeten.

Der Wolf'sche Apparat[2]), der am k. Observatorium aufgestellt ist, besteht 1) aus einer beweglichen Mire, 2) aus einem Fernrohre mit einem Netze von fünf Fäden, in deren Ebene zugleich ein sehr kleines Bild der Mire liegt; 3) aus einer Reihe von messingenen Lamellen, die in Holzstücke eingelegt sind und dazu dienen, den Contact mit dem Schieber der Mire herzustellen; 4) aus einem electrischen Registrirapparate, der dazu dient, diese Contacte, welche die Durchgänge repräsentiren, zu notiren.

Das bei diesem Versuche verwendete Fernrohr ist ein Dollond von zehn Centimeter Oeffnung; die Distanzen der fünf Fäden betragen für einen Aequatorealstern 12 Secunden. Die Vergrösserung beträgt mit dem normalen Oculare 77. Vor diesem Fernrohr befindet sich ein Tisch, der die Mire, den Apparat der Contacte und eine erste Linse trägt. Die Mire besteht aus einer geschwärzten, mit einem kleinen Loche versehenen Platte und aus einer kleinen Oellampe. Sie wird von einem *T*-förmigen Schieber aus hartem Holze getragen, welcher auf dem Tische mittelst zweier Rollen, die an den Enden des Querstückes befestigt sind, und mittelst einer conischen Axe ruht, die in einer Büchse läuft. Am Ende der *T*-förmigen Welle, die sich nach vorn auf dem Tische und zwar nach dem Fernrohre hin verlängert, sind Gegengewichte angebracht, die dazu dienen, das ganze Stück zu äquilibriren,

---

1) Bulletin international du 15 octobre 1864, Comptes rendus de l'académie des sciences, t. LX, 19 juin 1865, Annales de l'observatoire imperial, t. VIII, p. 153—208.

2) Herr Wolf hatte die Güte, uns seine Abhandlung einzusenden, so dass wir im Stande sind, den Lesern des Repertoriums in einem der nächsten Hefte die genaue Zeichnung des Apparates zu geben. Carl.

Digitized by Google

so dass es sich auf den Rollen mit Leichtigkeit um seine Axe drehen kann. Ueber dem Mittelpunct, in einem Abstande von der Mire von etwa 1 Meter, ist eine Linse von kurzer Brennweite (7 Centimeter) aufgestellt, welche ein erstes reelles, sehr kleines Bild der Oeffnung an der Mire gibt. Eine zweite Linse von 2 Meter Brennweite, die als Collimator dient, ist gegen das Objectiv des Fernrohres gerichtet. Da sein Abstand vom ersten reellen Bilde 2 Meter beträgt, so sieht der Beobachter ein neues, noch kleineres Bild, in der Ebene des Fadennetzes entstehen. Dieses einem Sterne ganz ähnliche Bild ist es, das die Rolle eines solchen vertritt und dessen Durchgänge über die Fäden man beobachtet. Mittelst dieser Anordnung erzeugt eine beträchtliche Verrückung der Mire blos eine sehr kleine Verrückung ihres Bildes im Focus des Fernrohres. Die Mire durchläuft einen Raum von 16 Centimetern, während ihre Bilder vom ersten bis zum fünften Faden, die 12 Millimeter von einander abstehen, fortrückt. Und doch beträgt die ganze Länge des Apparates nur 4,25 Meter; dabei schwankt das Bild nie, es ist nicht den Ursachen einer Störung oder scheinbaren Verstellung unterworfen, welche in so unangenehmer Weise das Bild der festen Miren an den Observatorien afficiren.

Zwei parallele Schnüre, die an den beiden Enden des Querstückes angebracht sind, ertheilen dem Schieber eine gleichförmige Bewegung vorwärts und rückwärts, deren Geschwindigkeit beim Vorwärtsgehen genau dieselbe wie beim Zurückgehen sein soll. Da jedoch die zufälligen Aenderungen dieser Geschwindigkeit durch die Beobachtungsweise eliminirt sind, so hat sich Wolf mit der einfachen Bewegung eines Uhrwerkes begnügt, das durch ein Gewicht bewegt und durch Windflügel regulirt wird. Die Axe des letzteren Mobiles verlängert sich ausserhalb der Büchse zu einem Stift von 2 Millimeter Durchmesser, über welchen zwei Bänder gehen, die an das Ende der Zugschnüre des Schiebers befestigt sind. Wenn man an diese beiden Bänder zwei sehr leichte Wagschalen anhängt und in die eine ein kleines Gewicht legt, so reicht der ungleiche Zug, welcher mittelst der Bänder auf den Stift ausgeübt wird, hin um den Schieber im Sinne des überbelasteten Bandes fortzuführen. Da die beiden Wagschalen mittelst Rollen nahe beim Beobachter aufgehängt sind, so kann dieser nach Willkühr den Sinn der Bewegung des Stromes ändern, ohne das Fernrohr zu verlassen. Man kann auch die Geschwindigkeit ändern, indem man das bewegende Gewicht verändert.

Digitized by Google

So eingerichtet reicht der Apparat schon hin, um Sterndurchgänge darzustellen und kann zur Einübung junger Astronomen benützt werden. Wir wollen nun sehen, wie daraus ein automatischer Registrirapparat der Durchgänge des künstlichen Sternes gemacht wird.

Wolf hat zu diesem Zwecke zwei vollständig verschiedene Verfahrungsweisen in Anwendung gebracht: das eine stützt sich auf die Anwendung des Inductionsfunkens, das andere basirt auf einem Morseschen Telegraphen. Die letztere Form des Apparates hat Wolf vorzüglich angewendet.

Unter dem Schieber in der Verticalen, die durch das Loch der Mire geht, ist eine Stahlfeder befestigt, deren Ende unten einen sehr kurzen, in einen kugelförmigen Knopf auslaufenden Stift trägt. Der Contact dieses Knopfes mit geeignet angebrachten Metallstreifen muss den Strom einer Batterie im Momente des Durchganges des Sternes über jeden der Fäden schliessen und so die Registrirung des Durchganges bewirken. Der Apparat der Contacte ist eine rechtwinklige Büchse von 20 Centimeter Breite, die durch 2 Centimeter breite Stücke von hartem Holze in fünf rechtwinklige, gleichfalls 2 Centimeter breite Fächer getheilt ist. In jedem dieser Fächer kann sich parallel mit den kürzeren Seiten der Büchse ein parallelepipedisches Holzstück bewegen, dessen Oberfläche mit der Oberfläche der festen Stücke zusammenfällt. Eine Spiralfeder auf der einen Seite, eine Micrometerschraube auf der andern Seite dienen dazu, diesen Schiebern eine sehr langsame Bewegung vor und rückwärts und umgekehrt zu ertheilen. In diese Stücke sind in schräger Richtung gegen ihre Länge Lamellen von feinem Kupfer so eingelassen, dass sie mit der oberen Fläche des Schiebers zusammenfallen. Da die am ganzen Schieber befestigte Stange mit einem Pole der Batterie verbunden ist und die verschiedenen Kupferlamellen mittelst gegen sie drückende Schrauben mit dem anderen Pole der Batterie vereinigt sind, so sieht man, dass bei der Bewegung des Schiebers der Schliessungskreis dieser Batterie jedesmal geschlossen sein wird, wenn die Stange eine der Lamellen berührt, geöffnet dagegen während der Zeit, wo die Stange auf dem Holze aufliegt.

Das Schliessen des Stromes muss genau in dem Momente stattfinden, wo der bewegliche Stern vom Faden bissecirt wird. Man zieht zu diesem Behufe an den Schnüren, bis das Bild auf einen der Fäden fällt und drückt an die Contactlamelle, bis sie die Feder berührt: der

Digitized by Google

Contact wird dann an dem Registrirapparate markirt. Der Contact muss übrigens schon gesichert sein, bevor die Feder sich auf die Breite der Kupferlamelle auflegt. Die schiefe Stellung der Lamellen gestattet ein seitliches Fortrücken derselben, unter Einwirkung der Schraube und der gegendrückenden Feder, um so kleine Grössen als man nur immer will. Hat man den Apparat für die fünf Fäden regulirt, so werden die Durchgänge während der vorgehenden Bewegung des Sternes durch das Schliessen des Stromes und beim Rückwärtsgehen durch die Unterbrechung desselben notirt.

Um die Schliessungen und Unterbrechungen des Stromes zu registriren, bediente sich Wolf gewöhnlich eines Morse'schen Telegraphen mit Walzen nach dem Systeme von Digney Frères. Dieser Apparat besteht aus zwei Electromagneten; der eine ist der gewöhnliche Electromagnet für den Telegraphen, der andere ist an der Seite befestigt und sein beweglicher Hebel steht senkrecht gegen den des ersteren. Die beiden Hebel legen sich an den Papierstreifen an und bringen ihn in Berührung mit der einen oder andern von zwei Walzen, welche unabhängig von einer und derselben Axe getragen werden. Um die Unabhängigkeit der beiden Hälften des Papierstreifens zu erhalten, lässt man dieses Band zwischen zwei einander sehr nahe liegenden Metallstreifen laufen, deren jeder zwei ovale Löcher besitzt, die mit den Enden der Hebel und mit den Walzen übereinstimmen. Die Länge einer Secunde beträgt immer 18 Millimeter im Mittel, so dass es leicht ist, eine Zwanzigstel Secunde zu schätzen.

Die Secunde wurde von einer Sternuhr von Berthoud gegeben, die in einem andern Saale aufgestellt war und bei jeder Schwingung des Pendels den Strom einer Säule von 10 Marié-Davy'schen Elementen durch ein Relais gehen liess. Der Hammer des Relais schlägt, indem er gegen seine Unterlage stösst, die Secunde, nach welcher man beobachtet, und schliesst zu gleicher Zeit den Schliessungskreis einer zweiten Säule von 10 Elementen, deren Strom auf den ersten der beiden Electromagneten wirkt; der zweite Electromagnet steht mit einer dritten Säule von gleicher Stärke in Verbindung und markirt die Durchgänge.

Die Beobachtung wird nun in folgender Weise ausgeführt. Nachdem der Apparat regulirt ist, setzt man das Uhrwerk in Gang, welches den Schieber der Mire führen muss, ohne jedoch die eine oder andere der beiden Wagschalen zu belasten, so dass der Schieber noch

Digitized by Google

unbewegt bleibt; sodann lässt man auch das Uhrwerk des Telegraphen gehen. Man beginnt die Secunde von der Zeit an zu zählen, wo sie markirt wird. Sodann tritt man an das Fernrohr, legt ein Gewicht in die eine Wagschale und beschäftigt sich nun bloss noch damit, die Momente der Durchgänge des künstlichen Sternes über die Fäden nach der vom Relais geschlagenen Secunde mittelst der Bradley'schen Methode zu schätzen, indem man nämlich das Intervall vom Anfange einer Secunde bis zum Faden mit dem zwischen dem Faden und dem Ende der Secunde durchlaufenen Intervalle vergleicht. Ist der Stern am andern Ende des Gesichtsfeldes angekommen, so kann der Beobachter das Gewicht in die andere Wagschale legen und so eine Beobachtung des Durchganges im entgegengesetzten Sinne ausführen.

Ist die Operation vollendet, so arretirt man den Telegraphen und liest die letzte registrirte Secunde ab; sodann nimmt man mit freiem Auge die Ablesung der erhaltenen Registrirungen vor und vergleicht sie mit den Resultaten der directen Beobachtung. Der mögliche Schätzungsfehler eines jeden einzelnen, auf diese Weise registrirten Durchganges übersteigt nicht 0,05 einer Secunde, 25 Beobachtungen würden also die gesuchte Zeit auf ein hundertel Secunde genau geben und diese Präcision ist gewiss mehr als hinreichend.

Die Discussion der Fehlerquellen, welche die verschiedenen Theile des Apparates in das Resultat bringen können, führt Wolf zu der Annahme, dass jeder constante Fehler, der 0,01 Secunde übersteigt, durch die Beobachtungsweise selbst eliminirt werden kann. Eine vollständige Beobachtung der Durchgänge an den fünf Fäden besteht in Wirklichkeit aus vier Beobachtungen an jedem Faden; während eines Vor- und Rückganges des Sternes registrirt der erste der beiden Electromagneten die Secunde, der zweite die Durchgänge, sodann werden während des folgenden Vor- und Rückganges die Rollen gewechselt und man erhält so das jedem Faden entsprechende Mittel aus vier Beobachtungen. Auf dieses Mittel haben die Instrumentenfehler nur ganz geringen Einfluss. Die Verwechselung der Rollen der Electromagnete geschieht mittelst eines Commutators.

Vierzig auf diese Weise durch das Auge und das Gehör beobachtete Durchgänge bilden eine complete Serie und sind in folgender Weise gruppirt: fünf directe und fünf umgekehrte Durchgänge, wobei

Digitized by Google

die Secunde mittelst des ersten Electromagneten registrirt wird, dann eine ähnliche Reihe mit Vertauschung der Electromagnete, endlich zwei mit den vorigen identische Reihen. Das Ganze dieser Operationen nimmt im Mittel 10 Minuten in Anspruch, und die damit verbundene Ermüdung ist ganz gering. Wolf hat bald bei Tage, bald bei Nacht beobachtet; im letzteren Falle war das Gesichtsfeld des Fernrohres durch eine zur Seite angebrachte Lampe erhellt, deren Strahlen auf einen kleinen Spiegel fielen. Es wurden keine Beobachtungen der Durchgänge über erleuchtete Fäden bei dunklem Felde angestellt; es wäre übrigens leicht, den Apparat für diese Art von Beobachtungen einzurichten, und sogar könnte man denselben anwenden, um Durchgänge von Sternen, die eine merkliche Scheibe zeigen, sowie Sternbedeckungen, Durchgänge von Planeten über die Sonnenscheibe, Sonnenfinsternisse etc. zu beobachten. Man könnte dies durch ganz einfache Einrichtungen bewerkstelligen.

In einigen Fällen wurde die Registrirung auch mittelst des Inductionsfunkens erhalten. Die kleine Stange am Schieber bewegt sich dann auf einem Kupferstreifen, der von einem mit einer Lösung von Ferridcyankalium und Chlorcalcium getränktem Papierstreifen bedeckt ist. Bringt man die Stange und die Platte mit den Polen eines Rhumkorfsch'schen Inductionsapparates in Verbindung, dessen Interruptor durch die Uhr regulirt wird, so schlägt bei jeder Secunde ein Funken über und registrirt durch einen schwarzen Punct auf dem Papier die Position des Schiebers und des Stromes. Eine andere Unterbrechung in demselben Schliessungskreis des inducirten Stromes gibt einen zweiten Funken, nach dessen Geräusch man die Durchgänge beobachtet, denn das Geräusch des ersteren Funkens ist hiefür zu schwach.

Man muss nun auf demselben Blatte die Positionen des Stiftes markiren, welche den Durchgängen entsprechen. Zu diesem Behufe führt man vor jeder Beobachtung den Stern der Reihe nach unter jeden Faden und lässt den Funken überschlagen. Sind so die Positionen markirt, so verstellt man die Kupferplatte parallel mit sich selbst um 2 bis 3 Millimeter nach der zur Bewegung des Schiebers senkrechten Richtung, und markirt von Neuem die fünf Positionen. Hierauf setzt man den Schieber in Bewegung und beobachtet die Durchgänge, während die Secunde registrirt wird. Wenn man nach jeder Reihe der directen und umgekehrten Durchgänge die Platte mit

Digitized by Google

Hilfe ihrer Schraube verstellt, so erhält man eine Reihe von Puncten, die in parallelen Kreislinien liegen. Zum Schluss markirt man von Neuem die den fünf Fäden entsprechenden Positionen, und macht dann die Ablesung der Beobachtungen, indem man gerade Linien durch die demselben Faden entsprechenden Puncte zieht und mittelst der Lupe die zwischen diesen Linien und den nächst gelegenen Secundenpuncten enthaltenen Intervalle schätzt. Man hat so das getreue Bild des Weges des Sternes über das Fadennetz vor Augen. Durch die Anwendung des Chlornatriumpapiers wird eine bedeutende Fehler quelle vermieden, nämlich die Deviation des Funkens.

Dieser Apparat wurde im Monat Oktober 1863 construirt. Wolf hat die drei ersten Monate auf das Studium der Fehlerquellen und seine eigene Einübung verwendet. Diese Uebung hatte die bemerkenswerthe Wirkung, dass sodann die Personalcorrection von 0",30 auf 0",11 herabsank. Allein vom Januar bis Juni 1864 ist diese Grösse unveränderlich geblieben und die Thatsache dieser Constanz ist in den Augen von Wolf ein entscheidendes Argument zu Gunsten der Anwendung eines speciellen Apparates für die Einübung der Astronomen. Man hätte in der That fürchten können, dass der Gebrauch eines solchen Apparates die Regelmässigkeit der laufenden Beobachtungen störte, indem sich den Beobachtern ein gewisses Vorurtheil einprägt; allein nach Wolf gewöhnt man sich leicht daran, stets in identischer Weise zu beobachten, und dann ist es jedenfalls ein grosser Vortheil durch diese practische Einübung den persönlichen Fehler zu verhindern. Der physiologische Fehler kann also auf ein Minimum reducirt werden, und es scheint, dass es für jeden Beobachter eine Grenze gibt, unter die er nicht herabsinken kann. Ist der Fehler einmal bei dieser Grenze angekommen, so bleibt er constant, wenn anders der Beobachter sich in seinem normalen körperlichen und geistigen Zustande befindet; er wird jedoch zufälligen Schwankungen unterworfen sein in Folge gewisser physiologischer Dispositionen wie z. B. die Ermüdung einer langen Beobachtungsnacht etc. Es ist dies wenigstens das Resultat, welches Wolf aus seinen Experimenten abgeleitet hat; es steht im Widerspruche mit demjenigen, zu welchem Plantamour und Hirsch ihrerseits gelangt sind, und wir glauben, dass die Frage nur dann entschieden werden kann, wenn der Wolf'sche Apparat in die Praxis der Observatorien eingeführt sein wird und damit von einer grossen Anzahl Astronomen Beobachtungen angestellt worden sind.

Digitized by Google

A priori scheint uns die Constanz des persönlichen Fehlers nur schwer annehmbar zu sein.

Es gibt übrigens mehrere Elemente ausserhalb der Beobachtung, welche die Grösse dieser Correction modificiren. Wolf hat der Reihe nach den Einfluss geprüft: 1) der Richtung der Bewegung des Sternes, 2) der Schnelligkeit der Bewegung, 3) der Stellung des Beobachters, 4) der Vergrösserung des Oculares ausüben. In Bezug auf die Helligkeit des Sternes und die Erleuchtung des Gesichtsfeldes scheinen diese Bedingungen keinen merklichen Einfluss auszuüben.

Gewöhnlich geht der Stern von rechts nach links durch das Gesichtsfeld des Fernrohrs; das Umgekehrte hat nur für die Circumpolarsterne statt. Man hat sich deshalb nicht viel mit dem Einflusse beschäftigt, welchen die Richtung der Bewegung ausübt. Allein die Einführung terrestrischer Oculare bei vielen Instrumenten gibt dieser Frage ein gewisses practisches Interesse und hier war sie besonders wichtig, um so die Fehler des Apparates durch die Combination directer und umgekehrter Durchgänge zu eliminiren. Wolf hat dies so gemacht, dass der Stern bei derselben Beobachtungsweise während des Vor- und Rückganges immer sich in dem gleichen Sinne zu bewegen schien und er erreichte dies mittelst eines Reflexions-Prismas, das während des Rückganges des Sternes vor das Ocular gebracht wurde. Man erhielt so jedesmal blos Durchgänge von Links nach Rechts oder blos von Rechts nach Links. Vom 11. Mai bis 25. Juli 1864 haben 22 Reihen von 40 Durchgängen die folgenden Resultate ergeben:

		Personalcorrection.		
		Directe Bewegung.	Umgekehrte Bewegung.	Unterschied.
Mai	11.	+ 0",08	+ 0",17	+ 0",09
„	12.	+ 0,11	+ 0,12	+ 0,01
„	12.	+ 0,09	+ 0,16	+ 0,07
„	12.	+ 0,13	+ 0,15	+ 0,02
Juni	2.	+ 0,12	+ 0,18	+ 0,06
„	8.	+ 0,11	+ 0,12	+ 0,01
„	8.	+ 0,10	+ 0,15	+ 0,05
„	8.	+ 0,10	+ 0,14	+ 0,04
Juli	16.	+ 0,09	+ 0,13	+ 0,04
„	23.	+ 0,08	+ 0,13	+ 0,05
„	23.	+ 0,09	+ 0,13	+ 0,04
	Mittel	+ 0,10	+ 0,14	+ 0,04

Digitized by Google

Die Correction ist stets für die umgekehrte Bewegung (von links nach rechts) grösser als für die directe Bewegung (von rechts nach links). Das heisst mit anderen Worten, wenn Wolf die Abstände des Fadens von zwei auf beiden Seiten desselben gelegenen Puncten schätzt, so erscheint das rechts gelegene Intervall grösser als das linke. Und wirklich fand Wolf, indem er zwei auf einem Blatt Papier befindliche Puncte, die gleich weit von einer verticalen Linie auf beiden Seiten derselben abstanden, prüfte, stets den Abstand rechts grösser als den linken. Er glaubt, dass dieses Factum seine Entstehung in einer unsymmetrischen Ausbreitung der Nerven der Retina auf beiden Seiten der Puncte haben müsse, wo das Bild des Fadens entsteht; es ist dies ein ähnlicher Fall wie der, wenn man einen Stern zwischen zwei Fäden pointirt.

Bei den folgenden Experimenten hielt es Wolf nicht mehr für nöthig, die Bewegung des Sternes mittelst des Prismas auf eine einzige Richtung zu bringen, die Correction ist also stets das Mittel zweier Grössen entsprechend den beiden Richtungen der Bewegung.

Wolf beschäftigte sich dann mit dem Einflusse der Schnelligkeit der Durchgänge. Schon Bessel hat auf die Wichtigkeit dieser Frage für die Bestimmung der Rectascensionsdifferenzen hingewiesen[1]). Er sagt, dass er zahlreiche Experimente mit verschiedenen Vergrösserungen angestellt und in der Nähe des Aequators das gleiche Resultat mit einer 182fachen und einer 66fachen Vergrösserung erhalten habe. Da nun die Sterne, deren Declination nicht geringer als 70 Grade ist, sich ebenso rasch bei Anwendung der ersteren Vergrösserung wie die Aequatorealsterne bei der zweiten bewegen, so schloss Bessel, dass hier die Geschwindigkeit der Bewegung keinen Einfluss habe. Allein Wolf weist darauf hin, dass die Vergrösserung nicht blos die Schnelligkeit der Bewegung modificire, sondern auch die Dicke der Fäden ändere; ferner änderte sich bei der Bessel'schen Beobachtung die Lage des Kopfes des Beobachters nicht, während sie sich ändert, wenn man Sterne von verschiedener Declination beobachtet.

Indem Wolf das bewegende Gewicht des Uhrwerkes wechselte, konnte er die Geschwindigkeit des Sternes zwischen weiteren Grenzen verändern. Da der Stern bei der äquatorealen Geschwindigkeit die fünf Fäden in 60 Secunden durchlief, so hat Wolf mit Geschwindig-

1) Astronomische Beobachtungen. VIII. Section 1822.

Digitized by Google

keiten zwischen 30 und 100 Secunden beobachtet, welche in der verschiedensten Weise auf einander folgten, wodurch jeder constante Einfluss eliminirt wurde. Vierzig beobachtete Durchgänge mit der gleichen Geschwindigkeit bildeten immer zwanzig Werthe der Correction, deren Mittel das Resultat einer completen Serie repräsentirte. Man berechnete auch den mittleren Fehler einer doppelten Beobachtung für einen Faden und den Fehler der mittleren Correction für jede Reihe. Diese Reihen wurden nun in vier Gruppen entsprechend vier Graden der mittleren Geschwindigkeit getheilt und für jede Gruppe der mittlere Werth der Correction, der mittlere Fehler eines doppelten Durchgangs und der der mittleren Correction eingetragen. So wurden für die dritte Gruppe folgende Zahlen erhalten:

	Dauer des Durchgangs	Mittlere Correction	Fehler einer doppelten Beobachtung	Fehler der mittleren Correction
13. Oktober	50°,6	+ 0°,102	0,051	0,011
13. „	51,0	+ 0,149	0,058	0,013
24. „	53,8	+ 0,110	0,050	0,011
25. „	54,6	+ 0,087	0,056	0,013
24. „	55,4	+ 0,095	0,060	0,013
Mittel	53,08	+ 0,108	0,055	0,012

Folgendes ist noch die Tabelle der Resultate, die aus den vier Gruppen von 5 bis 8 completen Serien erhalten wurden:

Dauer	Correction	Fehler eines Durchgangs	Fehler der Correction
31°,5	+ 0°,141	0°,064	0°,014
40,3	+ 0,120	0,045	0,010
53,1	+ 0,108	0,055	0,012
86,9	+ 0,091	0,006	0,015

Man sieht, dass die Personalcorrection mit der Geschwindigkeit der Bewegung zunimmt und dass der mittlere Fehler der Beobachtung des Durchganges für eine Geschwindigkeit, die ein wenig grösser als die äquatoreale ist, ein Minimum zu sein scheint. Da übrigens die Geschwindigkeit des Bildes vom Sterne in der Ebene der Fäden proportional der Focaldistanz des Objectives ist, so kann man sagen, dass für das gleiche Ocular die Correction gleichzeitig mit dieser Focaldistanz wächst. Die Präcision einer Beobachtung wird jedoch ein Maximum für einen bestimmten Werth dieser Distanz erreichen, welcher nach Wolf nicht viel von 2 Metern verschieden wäre.

Digitized by Google

Die Lage des Kopfes des Beobachters schien ohne Einfluss auf die Grösse der Correction zu sein. Man hätte glauben sollen, dass daraus, dass der Augapfel durch sein Gewicht bei den verschiedenen Lagen verschieden gegen die Wände der Augenhöhle gedrückt wird, markirte Veränderungen entständen; allein die Experimente, welche Wolf mit Hilfe eines Reflexionsprismas, das mittelst eines Charniers am Oculare befestigt war, anstellte, haben keine solche Veränderungen erkennen lassen. Folgende vier Beobachtungen zum Beispiel vom 4. Januar 1865 waren mit 77facher Vergrösserung angestellt, während die Dauer eines Durchganges 54 Secunden betrug.

1. Reihe,	beobachtet ohne Prisma	+ 0,"113
2. „	auf dem Rücken liegend, mit Prisma	+ 0,114
3. „	„ „ „ „ „ „ „	+ 0,125
4. „	beobachtet ohne Prisma	+ 0,103
	Mittel	+ 0,114

Indem sich Wolf parallel zur Fernrohraxe hinlegte und von oben nach unten in das Prisma schaute, sah er den Stern den verticalen Durchmesser der Retina entlang gehen; er erhielt in diesem Falle eine Correction von 0,"127, während sie für die gewöhnliche Lage 0,"118 betrug. Dieser Unterschied ist jedenfalls noch nicht entscheidend.

Wolf hat nun noch den Einfluss der Vergrösserung des Oculars untersucht. Der scheinbare, vom Sterne durchlaufene Raum wird grösser als die Vergrösserung und die Schätzung der zu vergleichenden Intervalle leichter; allein es nimmt auch die Dicke der Fäden zu und daraus kann eine neue Fehlerquelle folgen, wenn der Beobachter die Positionen des Sternes am Anfange und am Ende der Secunde nicht immer in derselben idealen Axe vergleicht. Wolf hat mit Ocularen experimentirt, welche 34, 43, 77 und 133 mal vergrösserten. Mit dem ersten, etwas schwachen wurde eine Personalcorrection von 0,"157 erhalten; für die 77fache und 133fache Vergrösserung betrug dieselbe beziehungsweise 0,"111 und 0,"104, d. h. sie war fast identisch. Man muss dabei übrigens immer im Auge behalten, dass das Bild der Mire mit der Vergrösserung gleichfalls grösser wird, während das Bild eines wirklichen Sternes stets gleich gross bleibt.

Ueber die Veränderungen der absoluten physiologischen Correction hat Wolf aus seinen Experimenten die behandelten Resultate gezogen. Was nun die Personalgleichung zweier Beobachter betrifft, so sucht Wolf festzustellen, dass die grösste Differenz zweier Astronomen

Digitized by Google

sich sehr selten auf mehr als 0",3 erhebt. Von den veröffentlichten Personalgleichungen betragen blos die von Bessel mit Struve, Walbeck und Argelander mehr als 1 Secunde. Am häufigsten beträgt sogar diese Gleichung blos 1 bis 2 Zehntel einer Secunde. Wir wollen in dieser Hinsicht einige zu Paris angestellte Vergleichungen anführen.

1861[1]).

Le Verrier	— J. Villarcean . .	=	0",00
„	— Chacornac . . .	+	0,11
„	— Lépissier . . .	+	0,26
„	— Besse Bergier .	+	0,05
„	— L. Folain . . .		0,00
„	— Thirion	+	0,11
„	— Ismail.	—	0,06

1864[2]).

Le Verrier	— J. Villarceau .	=	+ 0",24
Folain	— J. Villarceau .		— 0,02
Folain	— Barbier . . .		— 0,05
Loewy	— Folain . . .		+ 0,12
Loewy	— Wolf.		0,00

In Uebereinstimmung mit Encke erklärt Wolf die grösseren Differenzen durch eine besondere Art, die Schläge der Uhr zu rechnen. Bessel beobachtete im Jahre 1821 die Durchgänge um 1",223 früher als Argelander; wenn es sich jedoch um eine plötzlich eintretende Erscheinung handelte, war er Angelander nur noch um 0",222 voraus; für die Sternbedeckungen betrug diese Differenz 0",281. Da die Zahl 0",22 genau der Bruchtheil von 1",22 ist, so wird man darauf geführt, sich zu fragen, ob die ganze Secunde nicht von einer unerklärten Verschiedenheit in der Zählungsweise liegt. Diese Hypothese

1) Annales de l'observatoire imperial, t. XVII, p. 20.

2) Observations faites pour la détermination des longitudes. Die verschiedenen von Wolf citirten Quellen sind: Bessel, astron. Beobacht. VIII. 1822. Greenwich observations 1854. Arago, oeuvres, t. XI, Annales de l'observatoins imperial, t. II p. 41 und t. XVII p. 20. O. Struve, détermination de la longitude entre Pulkowa et Altona 1843. O. Struve, expéditions chronométriques de 1845 in den mémoires de l'observatoire central. II. 1859. Peters, Längenbestimmung etc. Gerling, astron. Nachrichten t. XV p. 261. Encke, Denkschriften der Berliner Academie 1858. Annales de l'observatoire de Bruxelles, t. XIII p. 26. Washington Astron. Observ. 1846—1849.

Digitized by Google

wird noch durch die Thatsache unterstützt, dass Bessel mit einer Uhr, die halbe Secunden schlug, die Durchgänge um 0",52 und 0",47 später als im ersten Falle notirt, was sein Voraussein um eine halbe Secunde reducirte.

Ein ähnliches Factum zeigte sich vor einigen Jahren an der Pariser Sternwarte. Ein Beobachter notirte die Durchgangszeiten um 1 Secunde von den Schätzungen seiner Collegen verschieden. Einige Versuche mit künstlichen Durchgängen eines Objectes hinter ein Hinderniss reichten hin, um ihn von seinem Irrthum zu befreien und auf eine normale Schätzung der Secunde zurückzuführen. Man liess ihm mit lauter Stimme die Secunde zählen und markirte ihm den Augenblick des Durchganges durch einen Schlag mit der Faust auf den Rücken. „Nichts kann uns malen, sagte mir Le Verrier (so drückt sich Wolf in einem Schreiben an uns vom November 1865 aus) Niemand kann das Erstaunen des Gegenstandes des Experimentes malen, als ihm sein Fehler auf solche Weise deutlich gemacht wurde. Prazmowski hat mir ein ähnliches Factum citirt. Ich kann deshalb die mögliche Existenz eines Fehlers von einer ganzen Secunde nicht in Zweifel ziehen und wenn mich etwas in Erstaunen setzt, so ist es das, dass Bessel seinen Irrthum nach dem Experimente mit der halben Secundenuhr nicht erkannt hat."

In demselben Briefe erwähnt Wolf die beiden Personalgleichungen von 1",22 und 0",22 zwischen Bessel und Argelander und fragt sich dann, warum die ganze Secunde bei den Beobachtungen plötzlich eintretender Erscheinungen verschwindet. „Es ist dies ohne Zweifel, sagt Wolf, eine schwer zu erklärende Thatsache. Doch lässt sich bemerken, dass in diesem Falle das Zählen der Secunden nach dem Eintritte der Erscheinung aufhört, dass überdies nach diesem Eintritte der Geist sei es für die Beobachtung, sei es für die Schätzung nicht mehr in Anspruch genommen wird; es wird deshalb weniger leicht ein Gedächtnissfehler zum Vorschein kommen. Die Schwierigkeit ist übrigens für die eine oder andere Hypothese die gleiche." Es handelt sich hier sehr wahrscheinlich um eine optische Täuschung, welche durch geeignete Beobachtungen studirt zu werden verdiente.

Der zweite Theil der Wolf'schen Abhandlung enthält allgemeine Betrachtungen über den Ursprung der persönlichen Gleichung bei der Schätzung der Zeit der Durchgänge. Wolf erwähnt in dieser Beziehung die Ansichten von Bessel und Faye und namentlich das,

Digitized by Google

was Faye von der Zeit sagt, die beim Uebergange von einer Empfindung zur anderen verloren geht, wenn man nach der Bradley'schen Methode (par l'oeil et par l'ouïe) beobachtet. „Als ich anfing, sagt Wolf, an mir selbst den Beobachtungsfehler zu studiren, konnte ich sehr leicht die Existenz dieser verlorenen todten Zeit constatiren; ich hörte die Secunde und, als das Geräusch verschwunden war, lenkte ich meine Aufmerksamkeit auf die vom Sterne eingenommene Position. Diese Thatsache, welche ich vielleicht bei der Befangenheit des Geistes bei einer Reihe ernster Beobachtungen nie wahrgenommen hätte, wenn ich an einem Meridianfernrohre beobachtet hätte, wurde mir seit den ersten mit meinem Apparate angestellten Versuchen klar und ich musste einige Zeit hindurch glauben, dass sie die wahre Ursache der persönlichen Gleichung sei. Allein auch von dieser Zeit an machte sich bei mir unwillkürlich die Mühe der Uebung geltend und meine Correction sank in sehr kurzer Zeit von 0",30 auf 0",11 herab. Manchmal fand ich noch geringere Zahlen; allein dies waren nur Spuren von Oscillationen, die mit der raschen Einübung zusammenhängen, und ich kann mich bis auf Weiteres als an diese Zahl gebunden halten. Unter den gewöhnlichen Umständen ist es mir durchaus unmöglich, anders zu beobachten als ich es in Wirklichkeit thue und die angestrengteste Aufmerksamkeit lässt es nicht zu, die geringste verlorne Zeit zwischen dem Momente, wo ich die Secunde höre, und dem, wo ich die Position des Sternes pointire, zu bemerken. Und kann man deshalb sagen, dass diese Zeit nicht existire? Entschieden nicht. Sie muss bei einem guten Beobachter der Natur der Sache nach vollständig unwahrnehmbar sein; und gerade dies ist eine unerlässliche Bedingung der Constanz der Beobachtungsweise eines Astronomen: der Astronom darf nicht der Vervollkommnung fähig sein."

Allein Wolf nimmt diese Erklärung der physiologischen Correction nicht ganz allgemein an. Es gibt nach ihm drei Arten von Personalgleichungen. Die erste, sehr seltene, ist die einer ganzen Secunde, wovon wir bereits gesprochen haben. Die zweite, weit gewöhnlichere folgt aus der Superposition von Empfindungen, die von zwei verschiedenen Organen, dem Auge und dem Ohre herrühren. Beide können durch Einübung weggeschafft werden. Dann bleibt nur noch ein Fehler physiologischen Ursprunges übrig, der viel kleiner und viel constanter als der zweite ist und von dem die Erklärung von Bessel keine Rechenschaft geben kann.

Digitized by Google

Das Verschwinden des Fehlers, der aus der Superposition der Empfindungen folgt, erklärt sich, wenn man bedenkt, dass der Beobachter vor dem Durchgange vom Rythmus des Uhrschlages durchdrungen ist und dass er nicht mehr die Schläge der Uhr, sondern einen innern Schlag hört, den er in Gedanken dafür substituirt. Indem also unser Organismus Empfindungen derselben Natur combinirt, ist er einer ungemein grössern Genauigkeit fähig; es ist dann möglich, die verlorene Zeit, von der Faye spricht, zu eliminiren und so die Personalgleichung auf ihren physiologischen und nothwendigen Theil, für welchen der Gesichtssinn allein verantwortlich ist, zu reduciren.

Wolf hat jedes Geräusch, womit die Secunde geschlagen wird, unterdrückt und hat diese durch einen plötzlichen Lichtblitz markirt, der in dem Gesichtsfelde des Fernrohres mittelst einer nicht phosphorescirenden Geissler'schen Röhre, die vor dem Objective aufgestellt war, erzeugt wurde. Gleichzeitig wendete er die Registrirung durch den Inductionsfunken an und derselbe Strom, welcher den Funken erzeugte, markirte die Lage der Mire. Die Correction war zu 0",11 für die Aequatorgeschwindigkeit gefunden. Als er dabei die Secunden nach dem Geräusch des Funkens zählte, war die Correction 0",10. Aehnliche Experimente, wobei die Secunde am Sterne selbst durch einen Inductionsfunken markirt wurde, der hinter der Oeffnung der Mire aufleuchtete, hatten eine Correction von 0,"08 ergeben, welche 0",10 betrug, wenn die Secunde gehört wurde. Sie ist also in beiden Fällen fast dieselbe geblieben und man muss wohl daraus schliessen, dass die Ursache dieser psychologischen Personalgleichung nicht in der verlorenen Zeit liegt, welche aus der Coordination von Empfindungen verschiedenen Ursprunges folgt.

Wolf liess sich auch noch die Secunde in den Fingern seiner linken Hand durch eine Reihe leichter Erregungen schlagen, und seine Correction hat sich dadurch gar nicht geändert. Durch welchen Sinn immer also, sei es das Gesicht, das Gehör oder der Tastsinn, man zur Wahrnehmung der Secunde gelangen mag, der Schätzungsfehler hat bei einem einmal eingeübten Beobachter beständig die gleiche Grösse. Dieser Fehler kann also nur von demjenigen Sinne, der beständig im Spiele ist, nämlich dem Gesichte herrühren.

Um diese Frage aufzuhellen, hat Wolf eine Reihe specieller Experimente über die Erscheinungen angestellt, welche die Beobachtung eines Durchganges begleiten, wenn die Secunde durch das Gesicht

Digitized by Google

wahrgenommen wird, und er hat gefunden, dass alles von der Dauer des Lichteindruckes abhängt.

In der That schätzt man die Distanz des Sternes vom Faden zu klein, wenn er sich diesem nähert, dagegen zu gross, wenn er sich davon entfernt. Wenn man also seine wahre Lage pointiren könnte, so wäre sie immer hinter der scheinbaren zurück. Wolf überzeugte sich von der Richtigkeit dieser Hypothese, indem er vor dem Fernrohre eine Mirenplatte aufstellte, die mit drei Löchern in der verticalen Richtung versehen war; indem er nun das mittlere continuirlich, die beiden andern in Intervallen erleuchtete, erschienen die Löcher genau in gerader Linie, so lange die Mire in Ruhe blieb; sobald dieselbe jedoch bewegt wurde, schienen die äusseren Löcher gegen das mittlere zurückzubleiben, und die Verrückung ist dabei um so merklicher, je rascher die Bewegung ist.

Wenn die Erscheinung der Funken unregelmässig ist, so erscheint das mittlere Bild stets vollkommen deutlich vor den Bildern der Funken; ist jedoch die periodische Rückkehr derselben rhythmisch, so verlängert sich das Bild des Sternes, das immer wie vorher um dieselbe Grösse nach vorwärts verstellt ist, nach rückwärts mit einer Art von Schweif bis zur Verticalen, die durch die Funken geht, so dass das Auge zugleich alle zwischen diesen Grenzen enthaltenen Lagen übersieht. Wenn endlich mittelst eines festen Schirmes das continuirliche Bild in dem Momente verschwindet, wo die beiden Funken aufleuchten, so hört jede Ablenkung auf und die drei Puncte erscheinen im Augenblicke ihres plötzlichen Verschwindens genau in gerader Linie.

Diese Experimente sind geeignet, die Thatsachen bezüglich der persönlichen Gleichung zu erklären. Es ist klar, dass die Abweichung des Sternes eine Täuschung ist. In dem unvorhergesehenen Augenblicke, wo die Sterne aufleuchten, wendet das Auge alle seine Aufmerksamkeit auf sie, blickt nicht mehr auf den Stern und kommt zu diesem erst wieder zurück, wenn die Funken verschwunden sind; inzwischen ist jedoch der Stern weitergegangen und erscheint um eine kleine Grösse vorgerückt, welche der Zeit entspricht, während welcher der Lichteindruck der beiden Funken andauert. Der begangene Fehler ist also gleich der Dauer des Bestehens des von der Retina empfangenen Eindruckes. Ist jedoch das Auge der Erscheinung der Funken durch den Rythmus ihrer Aufeinanderfolge vorausgegangen, so verlässt es

Digitized by Google

den Stern nicht und sieht ihn im Augenblicke des Aufleuchtens in der Verbindungslinie der Funken. Es nimmt diese während einer bestimmten Zeit und auch den Stern bis zu seinem Verschwinden fortwährend wahr. Das Auge sieht also den Stern in allen zwischen diesen Grenzen eingeschlossenen Positionen und diese Positionen finden gleichzeitig statt, ihr Verlauf entspricht also einem untheilbaren Zeitraume. Der Beobachter wird also die Lage des Sternes im Momente des Aufleuchtens mit irgend einem Puncte dieses Verlaufes vergleichen können. Er behält jedoch ausserdem noch im Momente des Aufleuchtens den Eindruck aller vorher während eines Zeitintervalles, welches der Dauer des Gesichtseindruckes gleich ist, eingenommenen Lagen. Die ganze Weite, welche dem Beobachter für die Schätzung gelassen ist, ist also gleich der doppelten Dauer des Lichteindruckes (vom Puncte des Aufleuchtens an nach vor- und rückwärts gerechnet); mit anderen Worten, seine Correction ist zwischen zwei Grenzen eingeschlossen, welche die Dauer des Eindruckes, positiv und negativ genommen, sind. Man kann sagen, dass es sich hier um eine Erscheinung der Blendung handelt. Einige Beobachter werden wahrscheinlich die Mitte dieses Raumes wählen; allein die meisten werden eine der äusseren Grenzen nehmen. Wolf hat die obere Grenze genommen d. h. er hat zu bald beobachtet.

Eine wichtige Folgerung dieser Erklärung des physiologischen Fehlers ist folgende: Wenn man, wie auch immer die Secunde aufgefasst wird, die Continuität der Bewegung des Sternes aufhebt, so wird der Fehler gleich Null. In der That wird die Correction unmerklich, wenn man an die Stelle der continuirlichen Erleuchtung der Mire eine Aufeinanderfolge von jede Secunde hinter der Oeffnung aufleuchtenden Funken nimmt.

Es scheint so der Beweis geliefert zu sein, dass die persönliche Correction eines vollständig eingeübten Beobachters nur von einer optischen Täuschung herrührt. Die Dauer der Wahrnehmung durch das Gehör, die geringer als eine Hundertel-Secunde ist,[1]) würde also auf die Entstehung des Schätzungsfehlers ohne Einfluss sein, und die Grenzen dieses Fehlers müssen die gleichen sein, wenn die Secunde durch das Auge oder das Ohr wahrgenommen wird.

Im Momente der Auffassung der Secunde sieht das Auge den

1) Siehe darüber Helmholtz, die Lehre von den Tonempfindungen, pag. 261.

Digitized by Google

Stern in allen Lagen, die vorher von ihm während einer Zeit eingenommen waren, die gleich der Dauer des Lichteindruckes ist, und der neue Eindruck dauert noch eine der ersten gleich lange Zeit an, während welcher der Stern der vorigen symmetrische Positionen durchlaufen wird. Jedes dieser Intervalle entspricht einem durch das Gesicht nicht theilbaren Raume und der Beobachter wird die Lage des Sternes im Momente, wo er die Secunde hört, auf irgend einen Punct des ganzen Raumes beziehen, je nach seiner Geschicklichkeit.

Die Dauer, während welcher der Lichteindruck bei den gewöhnlichen Bedingungen der Beobachtung anhält, schwankt nach Emsmann[1]), welcher die Bestimmungen, die von Newton, d'Arcy, Plateau und ihm selbst erhalten wurden, vergleicht, zwischen 0",01 und 0",70. Allein es ist schwer, diese Versuche mit den Durchgangsbeobachtungen zu vergleichen, bei welchen das Bild auf der Retina eine Reihe aufeinanderfolgender Puncte durchläuft, so dass die Empfindlichkeit eines jeden Punctes viel weniger abgestumpft wird.

Indem Wolf eine feste Mire mittelst eines rotirenden Spiegels, der das Licht an beiden Seiten reflectirte, erleuchtete, hat er constatirt, dass die Wahrnehmung bei 10 Umdrehungen in der Secunde continuirlich wird. Die Dauer des Eindruckes beträgt also dann 0",05. Wenn aber die Mire (oder das Fernrohr) sich in Bewegung befindet, so sieht man zugleich zwei oder drei Bilder des leuchtenden Punctes, in diesem Falle dauert der Eindruck einer Erleuchtung noch an, wenn die zweite Erleuchtung schon entstanden ist. Indem er die Geschwindigkeit des Spiegels so vermindert, dass das unbewegliche Fernrohr ein discontinuirliches und gleichsam undulirendes Bild zeigte, liess die Verdoppelung dieses Bildes bei der Rotation des Fernrohres erkennen, dass man zwei gleichzeitige Bilder bis zur Geschwindigkeit von 3 Umgängen in der Secunde sehen kann; die Dauer des Eindruckes kann sich also wenigstens bis auf 0",16 erhöhen, wenn das Bild auf der Retina verrückt wird. Es erklärt dies die Veränderlichkeit der Personalcorrection, welche mit der Geschwindigkeit des Durchganges zunimmt.

Wolf schliesst nun aus seinen Untersuchungen, dass der physiologische persönliche Fehler eines Beobachters, welcher mit Hilfe eines speciellen Apparates eingeübt ist, seiner Natur nach sehr constant

1) Poggend. Ann. XCI. p. 611.

Digitized by Google

werden muss; er schliesst ferner, dass die Beobachtungsmethode durch das Auge und Ohr den Vorzug vor dem chronographischen Registrirverfahren besitzt, weil bei dem letzteren die registrirte Zeit mit demselben Fehler wie die geschätzte Zeit behaftet ist und ausserdem noch einen zweiten Fehler enthält, der die Zeit repräsentirt, die erforderlich ist, um den Finger auf die Taste zu setzen, was die Correction nothwendig beeinträchtigen und weniger constant machen muss, wiewohl diese auch zufällig bei dem Registrirverfahren einen geringeren Werth haben kann, wenn die Ursachen der Fehler sich compensiren. Wenn nach Pape und Dunkin der wahrscheinliche Fehler einer Beobachtung nach diesem Verfahren geringer ist als nach der alten Methode, so würde dies nach Wolf nur beweisen, dass man die Einübung der Astronomen in Bezug auf die Schätzung durch eine methodische Erlernung mittelst eines speciellen Apparates vervollkommnen muss.

„Diese Vervollkommnung des Beobachters, schreibt uns Wolf, ist übrigens kein Utopien; man kann sie nicht nur mit Hülfe eines Apparates ausführen, sondern ich bin ihr bei unserem Freunde Loewy begegnet, ich habe sie bei Le Verrier gefunden, der mir erstaunlicher Weise eine physiologische Personalcorrection gleich Null zu haben scheint und der in der That, als er sich einigen Versuchen, die ich mit mir selbst unternommen habe, unterzogen hat, sich vollständig gefühllos gegen die gewöhnlichen Ursachen optischer Täuschung zeigte."

Wolf gibt zum Schlusse seiner Abhandlung die Beschreibung eines Apparates, der zur Bestimmung der Personalgleichung bei den Durchgangsbeobachtungen geeignet ist und der zur Einübung junger Astronomen dienen könnte. Dieser Apparat, der viel einfacher als derjenige ist, womit Wolf seine Studien vornahm, besteht aus einem Fernrohre mit kurzer Brennweite, das fünf parallele Fäden trägt, aus einer beweglichen Mire, aus einem Systeme von Contacten, einem Uhrwerke und einem Registrirapparate; die beiden letzteren Theile befinden sich auf besonderen Trägern.

Das Fernrohr muss das Meridianrohr nachahmen, mit dem man gewöhnlich beobachtet. Das Intervall zweier Fäden muss in 60 Secunden von einem Aequatorealsterne durchlaufen werden, was eine Fadendistanz von $0^{mm},873$ für ein Fernrohr von 1 Meter, von $1^{mm},745$ für ein Fernrohr von 2 Meter etc. ergibt. Da die entsprechende, von der Mire in 12 Secunden durchlaufene Distanz 60 Milimeter und die

Digitized by Google

constante Distanz des Fadennetzes von der Mire $1^m,50$ beträgt, so wird man für die Focallänge des Objectives und die Distanz des Fadennetzes von seinem optischen Mittelpuncte $21^{mm},21$ und $21^{mm},51$ bei einem Fernrohre von einem Meter, $41^{mm},19$ und $42^{mm},39$ bei einem Fernrohre von 2 Meter etc. haben. Das Ocular muss dem des Meridianfernrohres identisch sein.

Der Schieber der Mire hat vier Räder, wovon zwei Rinnen, zwei ebene Radfelgen haben und die auf zwei parallelen Schienen gehen, deren eine dreieckig ist, die andere einen quadratischen Durchschnitt hat. Er trägt unten einen Platinstift, der an einem Lineal streift, das zwischen den Schienen durch Stücke von Elfenbein oder gehärtetem Kautschuck befestigt ist. Dieses Lineal besteht aus einem Messingstreifen, der fünf Messinglamellen trägt, welche 1 Millimeter breit und durch eine isolirende Substanz von einander getrennt sind; ihre Abstände müssen ungefähr 60 Millimeter betragen.

Das Uhrwerk bewegt den Schieber mittelst zweier Schnüre, die in Bänder endigen; diese Bänder gehen über zwei Rollen, welche man an einen Cylinder andrücken kann, welchen das Uhrwerk in Drehung versetzt, so dass hiedurch die eine oder andere der Schnüre fortgezogen wird.

Der Registrirapparat ist ein Morse Digney'scher Telegraph mit zwei Walzen, mit zwei Electromagneten aus dickem und kurzem Drahte. Man wendet dazu Daniell'sche Becher von grosser Oberfläche an. Ein Commutator vermittelt die Vertauschung der Functionen der Electromagnete. Bezüglich der übrigen Details und der Art, den Apparat zu reguliren, müssen wir auf die Originalabhandlung verweisen, welcher drei Figurentafeln beigegeben sind.

Die Tragweite der Wolf'schen Arbeit sowohl vom Standpuncte der Theorie als der Praxis aus wird es entschuldigen, dass wir dieselbe etwas weitläufiger behandelt haben.

Es erübrigt noch, von einer andern Classe von persönlichen Fehlern zu sprechen, welche die Messungen von Distanzen, Höhen etc. afficiren.

Man hat wahrgenommen, dass die Beurtheilung der Distanzen zwischen einem Objecte und zwei Fäden im Micrometer bei verschiedenen Stellungen des Auges nicht die gleiche ist. Die Beobachtungen am Heliometer machen oft die Distanzen der Doppelsterne von einer ähnlichen Beurtheilung der Gleichheit des Abstandes zwischen vier

Digitized by Google

Bildern desselben Sternes abhängig; bei den Zenithdistanzen findet dies fast immer statt.

Die Existenz einer derartigen individuellen Collimation war 1810 durch Arago erkannt als die natürliche Erklärung der grossen Differenzen, welche Méchain zu Mont-Jouy und Barcelona zwischen den Polhöhen, die aus der Beobachtung nördlicher Sterne abgeleitet waren, und denjenigen gefunden hatte, welche sich aus den südlichen Sternen ergaben. Dieselbe Collimation musste nach Arago den Schlüssel bilden für die eigenthümlichen constanten Variationen, welche er, Humboldt und Matthieu für die Polhöhe von Paris in Folge der geringsten Verstellung der Lage des Objectivs am Fernrohre ihres Repetitionskreises oder, was auf dasselbe hinauskommt, bei einer nicht wahrnehmbaren Verzerrung in den Bildern der beobachteten Sterne fanden. Das Protokoll der Sitzung des Längenbureaus vom 25. April 1810 enthält darüber die folgende Stelle:

„Polhöhe von Paris, bestimmt an einem Repetitionskreise von Humboldt, Mathieu und Arago. — Diese Polhöhe ist veränderlich je nach der Focaldistanz des Objectives, wenn Humboldt und Arago die Beobachtung anstellen; sie ändert sich dagegen nicht, wenn Mathieu beobachtet. Man überzeugte sich, dass diese Veränderlichkeit der Polhöhe nicht von einer Durchbiegung des Fernrohres abhängt . . . Arago erklärt die beobachteten Thatsachen, indem er bemerkt, dass die mit freiem Auge sichtbaren Sterne sehr unregelmässige Formen haben und dass auch eine derartige Unregelmässigkeit bei den im Fernrohre mit schwacher Vergrösserung entstehenden Bildern vorkommt."

In seiner Abhandlung über die Repetitionskreise, die im Jahre 1813 in der Connaissance des temps für 1816 veröffentlicht wurde, berichtet Arago dieselben Thatsachen mit neuen Details. Er erwähnt die Breitendifferenz zwischen Barcelona und Mont Jouy, welche Méchain aus astronomischen Beobachtungen um 3″ kleiner als nach der geodätischen Messung gefunden hatte, wiewohl die Entfernung der beiden Stationen im Meridiane nur 1,850 Meter d. h. eine Bogenminute betrug. Um diese Anomalie zu erklären, sagt er, reicht es hin, anzunehmen, dass bei einer der beiden Stationen ein verborgener Fehler des Instrumentes alle Zenithdistanzen um 3″ zu gross ergab. Constante Fehler von dieser Grösse kommen vor; man findet ein anderes derartiges Beispiel bei den beiden Beobachtungsreihen des Polarsternes,

Digitized by Google

welche Arago zu Formentera im December 1807 und im März 1808 angestellt hat. Vierhundert zwei uud zwanzig Beobachtungen des unteren Durchganges, in vier Tagen, vom 29. December bis 11. Januar angestellt, gaben mit grosser innerer Uebereinstimmung das Mittel 38° 39′ 56,″05; fünfhundert siebzig ähnliche Beobachtungen, an sieben Tagen, vom 25. Januar bis 6. März angestellt, gaben 38° 39′ 53,″91; allein die grösste Abweichung vom letzteren Mittel erhob sich bei sieben aus einem Theile der Beobachtungen gezogenen Resultaten nur ein einziges Mal bis zu 0,″6. Die schlechte Uebereinstimmung zwischen den beiden Mitteln hatte ihren Grund in einer leichten Aenderung der Lage des Objectives, welche am 25. Januar für nöthig erachtet wurde.

Der Fortin'sche Kreis, welcher bei der Breitenbestimmung von Paris von Arago, Humboldt und Mathieu angewendet wurde, liess analoge Fehler erkennen. Mehrere gut übereinstimmende Beobachtungsreihen gaben die Breite von 11″ bis 15″ verschieden. Um so weit auseinander gelegene Resultate zu erhalten, reichte es hin, das Objectiv um eine kleine Grösse vor- oder rückwärts zu verstellen. „Das Gesetz dieser Veränderungen ist übrigens so regelmässig, sagt Arago, dass beim blossen Anblicke des beweglichen Auszugrohres, welches das Objectiv trägt, jeder von uns im Voraus sagen konnte, welchen Werth er für die Breite erhalten würde. Die Beobachtungen gaben uns die wahre Breite von Paris nur dann, wenn der Stern etwas in die Breite gezogen war, d. h. bei derjenigen Lage des Objectives, für welche wir eher in unsere Messungen hätten ein Misstrauen setzen sollen. Uebrigens erzeugten diese Veränderungen der Form oder Ausdehnung im Bilde des Sternes nicht gleiche Fehler in den Resultaten der Beobachtungs-Reihen eines jeden Beobachters, was uns von der Art und Weise abzuhängen schien, wie jeder von uns die Fäden zu erleuchten gewohnt war."

Arago erklärt sodann, wie diese Anomalien aus der Aenderung der Form des Sternes, aus der Modification seines scheinbaren Durchmessers hervorgehen müssten; er spricht die Hypothese aus, dass der Mittelpunct des scheinbaren Bildes nicht mit dem des reellen Bildes zusammenfallen könne. Diese Hypothese fand übrigens nicht Anklang; mehrere berühmte Astronomen bekämpften dieselbe, Gauss unter Andern critisirte dieselbe in der Leipziger Literaturzeitung.

Arago hoffte, dass diese Anomalien bei Kreisen von beträchtlicheren Dimensionen verschwinden würden, und Laplace liess auf seine

Digitized by Google

Kosten einen Repetitionskreis von 1 Meter Durchmesser vom berühmten bayrischen Künstler Reichenbach ausführen, um ihn der Sternwarte zum Geschenk zu machen. Mit diesem Instrumente wurde im Winter 1812 von Arago und Mathieu eine Reihe von Beobachtungen von Circumpolarsternen angestellt und man glaubte daraus die definitive Polhöhe von Paris ableiten zu können.

Aus den Beobachtungen südlich vom Zenith sollten die Declinationen bestimmt werden; allein später hat Mathieu dieselben von Neuem discutirt, um sie für die Bestimmung der Breite von Paris zu vereinigen, und das hieraus abgeleitete Resultat ergab eine schlechte Uebereinstimmung mit dem aus den nördlichen Sternen hergeleiteten. Das Mittel aus beiden war jedoch fast identisch mit dem Werthe für die Polhöhe, welchen Laugier und Mauvais im Jahre 1852 mit dem Gambey'schen Mauerkreise erhalten hatten, nämlich 48° 50′ 11,″2. Diese Thatsachen sind in einer Note von Arago über die Polhöhe von Paris erwähnt. (Oeuvres complétes. t. XI p. 139.)

In einer anderen Note mit dem Titel: Sur l'obliquité de l'écliptique et l'existence d'une collimation individuelle[1]) sagt Arago, dass er sich vorgenommen habe, die Sterne mit dem Mauerkreise einmal bei der gewöhnlichen Körperstellung und unmittelbar darauf bei der umgekehrten Stellung zu beobachten. Für einen Stern im Zenith würde dies darauf hinauskommen, dass man auf dem Rücken gelegen visirt, während einmal die Füsse nach Süden, das andere Mal nach Norden gekehrt sind.

„Für die in der Nähe des Horizontes gelegenen Sterne, sagt er, hätte man einmal die Füsse nach unten gekehrt, das andere Mal die Füsse nach oben gekehrt beobachten sollen. Natürlich konnten nur mit Beobachtungen im Zenith die Versuche angestellt werden." Folgendes sind die erhaltenen Resultate.

Victor Mauvais fand immer, wenn er nach Norden gekehrt war, die Polardistanzen um 5″ geringer als wenn er nach Süden gewendet war. Bei Eugen Bouvard ergab sich eine Nichtübereinstimmung von 2,″7, allein im entgegengesetzten Sinne. Für Laugier ging die Differenz nur bis zu 0,″5 und zwar im Sinne von Bouvard. Wenn sich jedoch Victor Mauvais des linken Auges statt des rechten

1) Rapport sur deux mémoires prèsentés par Eugène Bouvard et par Victor Mauvais, la à l'Académie le 21 novembre 1842. (Oeuvres d'Arago, XI p. 227.)

Digitized by Google

bei der Beobachtung bediente, so war merkwürdiger Weise seine Collimation verschwunden; wenn Bouvard beim Anvisiren der Zenithalsterne anstatt sich in die Ebene des Meridianes zu legen, eine darauf senkrechte Lage annahm, so war seine Collimation gleichfalls verschwunden. Bei der Arbeit über die Schiefe der Ecliptik, um die es sich hier handelt, hatten E. Bouvard und Mauvais auf diese Fehlerquelle Rücksicht genommen.

Die Vergleichungen der englischen Yards, die 1834 und 1835 von Baily ausgeführt wurden, richteten gleichfalls die Aufmerksamkeit auf die Personalfehler bei der Einstellung. „Als Baily, sagt Faye[1]), sich vor acht Jahren damit beschäftigte, einen Musteretalon für England festzustellen, musste er denselben mit den verschiedenen Mustern, deren man sich bisher bedient hatte, vergleichen. Eines dieser Muster war von Bird verfertigt, der darauf die Enden durch zwei sehr feine Puncte markirt hatte. Da man beim Gebrauche derselben den Stangenzirkel in Anwendung brachte, so waren diese beiden Puncte in sehr unregelmässiger Weise erweitert, und als Baily die genaue Distanz mit Hilfe eines Comparators mit Microscopen ermitteln wollte, machte er nicht ohne Erstaunen die Wahrnehmung, dass die Bissection dieser Puncte durch den beweglichen Faden der Fadennetze zu sonderbaren Anomalien Veranlassung gab. Die Länge dieses Yard war je nach den an die beiden äussersten Microscope placirten Beobachtern verschieden; sie konnte nur dann genau erhalten werden, wenn man an die beiden Enden dieselbe Person zum Ablesen stellte und zwar in der gleichen Lage gegen den Stab. Es scheint, dass bei der Bissection eines bestimmten Raumes Jeder in seiner besonderen Weise schätzt und einen bestimmten Fehler begeht, der für dasselbe Individuum als constant genommen werden kann.“ Diese Einstellungsfehler erklären sich, ähnlich denen, welche begangen werden, wenn man einen Stern zwischen zwei Fäden einstellt, wahrscheinlich aus der Dissymmetrie der Nerven der Retina, von der Wolf bei Gelegenheit der Differenz zwischen den directen und den verkehrten Durchgängen spricht.

In der Monthly Notices vom 9. Nov. 1865 (Vol. XVI Nr. 1) weist Airy auf eine Personalgleichung derselben Art hin, welche von Sheepshanks bei den micrometrischen Vergleichungen der étalons à traits constatirt

1) Comptes rendus 1853, I. p. 364.

Digitized by Google

wurde. Airy spricht auch noch von einer Personalgleichung bei den micrometrischen Messungen der Theilungsintervalle eines Kreises, worauf er von Dunkin aufmerksam gemacht wurde. Dunkin hat die Beobachtungen, welche 1853, 1854 und 1855 mit den Microscopen des Greenwicher Meridiankreises angestellt wurden, in eine Tabelle vereinigt, um den Fehler der micrometrischen Messungen zu finden. Folgende sind die mittleren Werthe der Correction von 100 Secunden für die verschiedenen Beobachter.

	Henry	Dunkin	Henderson	Ellis	Todd	Criswick
1853	0,420	0,310	0,411	0,301		
1854	0,403	0,274		0,368	0,329	
1855	0,420	0,297		0,408		0,290

Prazmowski hat auch in der oben citirten Abhandlung die individuelle Collimation bei den Beobachtungen der Zenithdistanzen studirt, indem er einmal im Zenith nach Norden und nach Süden gewendet, dann in einer beliebigen Distanz gleichfalls bei zwei entgegengesetzten Lagen des Kopfes beobachtete, was er mit Hilfe eines kleinen Reflexionsprismas erreichte, das vor dem Oculare angebracht war.

Wenn es sich um glänzende Sterne handelt, sagt Prazmowski, so kann man sich eines einzigen Fadens für die Bissection der Bilder bedienen. Dieses Mittel kann die Fehler verschwinden machen oder doch wenigstens verringern; allein es bleibt noch die Schätzung der gleichen Helligkeit der beiden Theile des Bildes übrig, welche über den Faden hervorstehen, eine Schätzung, welche auch mit einem Fehler behaftet sein kann, der von der Lage des Kopfes abhängt. Das Bild des Reflexionsprismas könnte uns belehren, ob dieser Fehler existirt.

Es wäre nach Prazmowski gleichfalls von Wichtigkeit, den Schätzungsfehler zu bestimmen, welchen man bei der Messung von Distanzen am Heliometer begehen kann, welche man häufig ausführt, indem man die vier Bilder eines Doppelsternes in gerade Linie in gleichen Intervallen einstellt. Man würde so vielleicht die schlechte Uebereinstimmung beseitigen können, die in den Werthen der Distanzen der Doppelsterne, wie sie von verschiedenen Beobachtern gegeben werden, enthalten sind, und man sollte auf diese Fehlerquelle um so mehr Rücksicht nehmen, als der persönliche Fehler, da die Verbindungslinie der beiden Sterne zu verschiedenen Zeiten verschiedene Neigungen annimmt, dann die Wirkungen der Parallaxe nachahmen könnte.

Bei der Bestimmung der Biegung der Fernrohre mittelst Colli-

Digitized by Google

mationen würde der persönliche Einstellungsfehler gleichfalls eine Unsicherheit verursachen, der man bisher noch nicht Rechnung getragen hat. Bessel wunderte sich, eine Biegung bei dem Fernrohre seines Meridiankreises aus Beobachtungen des Polarsternes (der direct und durch Reflexion beobachtet war) zu finden, während er keine Biegung bei seinem Verfahren der einander gegenüberstehenden Fernrohre erhielt, wovon das eine in Bezug auf das andere die Rolle eines Collimators spielte. Die persönlichen Fehler könnten doch nicht wohl bei dieser Art von Erscheinungen fehlen.

In einem Briefe vom 26. November 1865 hat uns Prazmowski auf unseren Wunsch noch folgende Erörterungen über seine Untersuchungen bezüglich der Personalfehler gegeben.

„Das Reflexionsprisma, sagt Prazmowski, kann nicht blos bei den Meridianinstrumenten, sondern auch bei den parallactischen Instrumenten angewendet werden, besonders um die bei der Schätzung der Positionswinkel begangenen Fehler zu eliminiren, die von der gleichen Ordnung wie die Einstellungsfehler bei den Instrumenten sind. In Bezug auf diesen Gegenstand habe ich nur eine sehr genaue Arbeit zu citiren, die fast gleichzeitig mit meiner Mittheilung von Otto Struve veröffentlicht worden ist.[1]) Er hat die Positionswinkel von künstlichen Sternen, die auf einer rotirenden Scheibe angebracht waren, also im Voraus bekannte Winkel mit denen verglichen, welche ihm die directe Beobachtung ergab."

„Im Jahre 1855 und 1856 habe ich eine lange Beobachtungsreihe über den Fehler ausgeführt, der bei meinen Einstellungen zwischen zwei Fäden des Fadennetzes existirt. Da ich meine Manuscripte nicht bei der Hand habe (Prazmowski hält sich gegenwärtig in Paris auf), so bin ich nicht in der Lage, die Originalbeobachtungen zu citiren und muss mich mit einem kurzgefassten Resumé begnügen.

„Meine Beobachtungen wurden am Polarsterne und an η Ursae majoris angestellt, der nahe das Zenith von Warschau passirt und in geringer Entfernung vom Polarsterne liegt, so dass er auf den am Instrumente mittelst des letzteren bestimmten Polpunct bezogen werden kann. Er kommt ausserdem dem Zenith hinlänglich nahe, um direct in zwei Lagen beobachtet werden zu können, ohne das Reflexionsprisma zu gebrauchen, sowohl mit nach Norden als mit nach Süden

1) Observations des étoiles doubles artificielles; Bulletin physico-mathématique de l'Académie de St. Petersbourg, XIII, 1855.

Digitized by Google

gewendetem Gesichte. Er wurde an einem Tage in der einen Lage, am anderen Tage in der darauffolgenden Lage beobachtet und zwar einmal ohne Prisma, das andere Mal mit demselben.

„Das Resultat meiner Beobachtungen kann in folgende Sätze zusammengefasst werden:

1) Die directen Beobachtungen sind identisch mit denen, welche mit Hilfe des sich drehenden Reflexionsprismas angestellt sind;

2) Mein Einstellungsfehler war der gleiche für den Polarstern und für η Ursae majoris, nämlich 0,″7 im Zenith und bei 30° vom Zenith ab.

3) Der Fehler hatte noch den gleichen Werth im Horizonte, wenn man einen Collimator gebraucht, dessen Fadennetz um 45° geneigt war, wiewohl die Art und Weise der Einstellung völlig verschieden war.

4) Bei einer doppelten und dreifachen Distanz der Fäden verdoppelte und verdreifachte sich der Fehler, so dass man ihn in der Art aussprechen konnte, dass man sagte, er sei ein aliquoter Theil der Distanz der Fäden. Für mich betrug er ein Elftel dieses Intervalles unter den Bedingungen, dass ich mich in den gewöhnlichen Distanzen bei der Beobachtung: 8, 16 und 24 Secunden, hielt.

5) Bei einer Aenderung der Vergrösserung änderte sich der Werth des Fehlers nicht. Dieses letztere Gesetz ist übrigens eine Consequenz des vorhergehenden.“

In den Monthly Notices vom 15. Mai 1865 (vol. XXV Nr. 7) sind zwei neue Beispiele des Einflusses der individuellen Collimationen auf die Messung der Zenithdistanzen enthalten. E. Dunkin theilt die Existenz von sehr constanten und beträchtlichen Personalgleichungen bei der Bestimmung des Zenithpunctes am Höhen- und Azimuth-Instrumente von Greenwich, und bei der Bestimmung der Declination des Polarsternes am Meridiankreise der gleichen Sternwarte mit. Man hat die mittleren jährlichen Positionen des Zenithpunctes am Höhen-Azimuth-Instrumente für die Jahre 1855 bis 1864 nach jedem Beobachter besonders in eine Tabelle gebracht; nimmt man die Abweichungen dieser individuellen Werthe von ihren Mitteln, so kann man die mittlere Abweichung eines jeden Beobachters bestimmen; die Vergleichung zeigt dann, dass die grösste mittlere Personalgleichung zwischen zwei Beobachtungen 1,″11 beträgt; wenn man blos die Jahre 1857 und 1858 in Betracht zieht, so wird die grösste Gleichung 1,″27.

Digitized by Google

Die Constanz dieser Resultate liefert den Beweis, dass die beobachteten Differenzen keineswegs zufällig sind.

Die mittleren Declinationen des Polarsternes vom Jahre 1855 bis 1864 sind in gleicher Weise in individuelle Gruppen zusammengestellt. Nimmt man für das Complement der Breite einen mittleren Werth, 38° 31′ 21,″81, und bringt man daran die mittleren persönlichen Gleichungen an, so findet man, dass die von den verschiedenen Greenwicher Astronomen beobachteten Complemente der Breite die folgenden sind:

Dunkin	38° 31′ 21″,81	diff. 0″,0
Ellis	22 ,01	+ 0 ,20
Criswick	21 ,92	+ 0 ,11
Lynn	21 ,64	— 0 ,17
Carpenter . . .	21 ,48	— 0 ,33

Die grösste Abweichung ist hier 0″,53 (zwischen Ellis und Carpenter). Dunkin findet diese Thatsache schwer erklärbar. Er spricht jedoch die Meinung aus, dass die fraglichen Differenzen ihren Grund in irgend einer Eigenthümlichkeit der unter die Microscope gebrachten Theilstriche haben könnten, wenn man den Polarstern beobachtet und deren Ablesung eine Schwierigkeit bietet, der man noch nicht Rechnung getragen hat. Er denkt nicht daran, dass die Abweichungen aus der Art und Weise der Bissection des Sternes hervorgehen, weil die Beobachtungen der Mire am Höhen-Azimuth-Instrument, wiewohl weniger fein, keine merkliche persönliche Gleichung ergeben.

Nachdem Dunkin seine Note in der k. astronomischen Societät gelesen hatte, nahm Stone das Wort, um eine andere Erklärung des nämlichen Gegenstandes zu geben, die durch den Calcul bestätigt wird und auf welche Stone in der Sitzung der astronomischen Societät vom 8. December 1865 zurückgekommen ist.[1]) Bei der Reduction der Meridianbeobachtungen von Greenwich wendet man immer für ein Intervall von fünfzehn Tagen den mittleren Zenithpunct an, der sich aus den verschiedenen Bestimmungen ergibt, die während des nämlichen Zeitraums gemacht wurden. Es folgt daraus, dass der angenommene Werth für den Zenithpunct von persönlichen Differenzen unabhängig sein wird, welche die von den verschiedenen Astronomen der Sternwarte gemachten Ablesungen afficiren können, während diese

1) Monthly Notices, XXVI Nr. 2 p. 48.

Digitized by Google

Differenzen sich in den Zenithdistanzen der Sterne wiederfinden werden und folglich auch in dem individuellen Complement der Breite eines jeden Beobachters, wenn sie mit dem mittleren Zenithpuncte bestimmt wurde. Wären dagegen der Zenithpunct und das Complement der Breite von demselben Beobachter bestimmt worden, so würde das Resultat von dem Einflusse der persönlichen Differenzen bei der Microscopablesung frei sein, wenn man doch voraussetzt, dass die Beobachtungen sich nicht änderten.

Diese Hypothese wurde bewahrheitet gefunden. Die Vergleichung der Bestimmungen des Nadirpunctes am Instrumente, die im Jahre 1861 und 1862 von Dunkin, Ellis, Criswick und Carpenter ausgeführt wurden, hat die folgenden Differenzen ergeben:

Nadir Dunkin — Ellis	=	+ 0″,30
Dunkin — Criswick	=	+ 0 ,04
Dunkin — Carpenter	=	— 0 ,35

Da das Mittel Null ist, so folgt, dass die Abweichungen der vier Beobachter vom Mittel folgende sind:

Dunkin		0″,00
Ellis	+	0 ,30
Criswick	+	0 ,04
Carpenter	—	0 ,35

Die Zahl der Bestimmungen von Lynn war für eine Vergleichung unzureichend. Bringt man diese Differenzen an die oben gegebenen Complemente der Breite an, so ergibt sich aus den Beobachtungen von

Dunkin . .	38° 31′ 21″,81	
Ellis . . .	21 ,71	Mittel
Criswick . .	21 ,88	38° 31′ 21′,81
Carpenter .	21 ,83	

Die Uebereinstimmung dieser vier Resultate beweist, dass die Art und Weise, wie die Ablesung der Theilstriche gemacht wird, keineswegs mit den verschiedenen Theilen des Kreises für denselben Beobachter verschieden ist. Es ist zu bemerken, dass Carpenter weitsichtiger als Lynn, Lynn weitsichtiger als Dunkin und Criswick, diese wieder weitsichtiger als Ellis sind. Die Differenzen würden vielleicht noch geringer sein, wenn alle Beobachtungen unter denselben Temperaturverhältnissen etc. angestellt werden könnten.

Digitized by Google

Diese Mittheilung gab zu einer Discussion Veranlassung, an der mehrere Mitglieder der Societät Theil genommen haben. Pritchard erzählte, dass ein sehr bekannter Physiker nie zwei Einstellungen nach einander machen konnte, die auf weniger als etwa 3 Secunden gestimmt hätten, und er fügte hinzu, dass vielleicht keiner der Anwesenden, der nicht an Beobachtungen gewöhnt wäre, solche Fehler vermeiden würde. Dagegen bissecirte Andrew Ross, der berühmte Verfertiger von Microscopen, ohne an astronomische Beobachtungen gewöhnt zu sein, zehn Mal nach einander einen Theilstrich, ohne um ein Zehntelsecunde zu variiren.

Challis nannte einen astronomischen Gehilfen der Sternwarte zu Cambridge, der, obwohl sonst ein guter Beobachter, mit dem Mioroscope nicht einstellen konnte, ohne sich um drei oder vier Zehntel Secunden zu irren. Dunkin erwähnte ein ähnliches Factum. Dagegen hat ein berühmter Künstler einige Zweifel bezüglich der Existenz einer Personalgleichung in der Einstellung der Theilstriche eines Kreises ausgesprochen und machte sich anheischig, ein Microscop ohne Parallaxe herzustellen, womit diese Differenzen Null sein würden.

Ein sehr eigenthümliches Beispiel eines persönlichen Fehlers bei der Schätzung von Sterngrössen wurde durch eine Bemerkung gegeben, die Le Verrier nach dem Cosmos bei Gelegenheit der Wolf'schen Arbeit machte, um eine Frage von Chevreul zu beantworten. Marie Davy sah den Planeten Amphitrite von der 13. Grösse, während ihn Le Verrier als der 9. Grösse zugehörig classificirte. Der Planet hat eine sehr deutliche gelbe Farbe; es scheint also nach dem Gesagten, dass Le Verrier's Retina völlig unempfindlich gegen diese Farbe ist und dass allgemein die Farbe der Sterne einen Einfluss auf die Schätzung ihrer Helligkeit haben muss.

Wir hatten längst dieses historische Resumé abgeschlossen, als wir in den Astronomischen Nachrichten[1]) einen Brief von Schultz zu Upsala an Peters, den Herausgeber des Journales, fanden, worin der schwedische Astronom auf der Nothwendigkeit besteht, die laufenden persönlichen Gleichungen der Beobachter zu kennen, welche Planeten- oder Cometen-Oerter veröffentlichen. Die aus dieser Fehlerquelle hervorgegangenen Abweichungen, sagt Schultz, erreichen oft 3″ und können selbst bis 5″ gehen; es wäre sehr wichtig, ihr Zeichen und

1) Astronomische Nachrichten Nr. 1539, 17. Juli 1865.

Digitized by Google

die mögliche Grösse zu kennen, wenn man die verschiedenen Beobachtungen desselben Gestirnes vereinigen will, um daraus Elemente herzuleiten. Könnte man nicht übereinkommen, gleichzeitig im Meridian bestimmte Sterne der achten bis zehnten Grösse und einige bekannte Nebel zu beobachten? Die bereits veröffentlichten Beobachtungen würden vielleicht auch hinreichendes Material bieten, um diese Art von Vergleichungen vorzunehmen. Für Aequatoreale würde man andere Vergleichsobjecte wählen.

Schon in der folgenden Nummer des genannten Journales[1]) findet sich ein Aufruf Argelander's, des Directors der Bonner Sternwarte, an die Astronomen aller Länder, worin er dieselben zu einer Reihe von derartigen gleichzeitigen Beobachtungen auffordert. Als Gegenstand dieser Beobachtungen schlägt Argelander die Fundamentalsterne des englischen Nautical Almanach vor, zu welchen er eine bestimmte Anzahl geeignet gewählter anderer Sterne hinzufügte, so dass er für je 10° der Declination wenigstens 12 Sterne hat. Er gibt die Positionen und die Constanten dieser 144 Sterne, die von — 30° bis zum Nordpol vertheilt sind.

Argelander ersucht die Astronomen, welche sich an dem Unternehmen betheiligen wollen, dies bald bekannt zu geben, und spricht die Hoffnung aus, dass man schon vor Ablauf eines Jahres von dem gewonnenen Materiale Gebrauch machen könne.

In einer anderen Nummer desselben Journales[2]) zeigt Förster an, dass die Berliner Sternwarte bereit ist, sich an dem Argelander'schen Vorschlage zu betheiligen und dass die vorgeschlagenen Beobachtungen sogleich organisirt würden.

(Uebersetzt aus dem Moniteur scientifique Quesneville. Nr. de 15 novembre 1865 et suiv.)

1) Ibidem Nr. 1540, 24. Juli 1865.
2) Astron. Nachr. Nr. 1547, 12. Sept. 1865.

Digitized by Google

Kleinere Mittheilungen.

Neuer Stern-Spectralapparat von P. Secchi.

Der rühmlichst bekannte Astronom der Sternwarte des Collegiums Romanums hat der Pariser Academie in der Sitzung vom 23. Juli einen Bericht über das von ihm zu Sternbeobachtungen benützte Spectroskop vorlegen lassen. Dasselbe besteht aus einer achromatischen Cylinderlinse, welche im Focus des gewöhnlichen Oculares des Fernrohres ein lineares Bild des beobachteten Sternes erzeugt. Zwischen die Cylinderlinse und das Ocular bringt man ein möglichst kurzes Prisma. Die durch diese ungemeine einfache Combination erzeugten Spectren zeichnen sich durch die Lebendigkeit der Farben und die Deutlichkeit der Linien aus. Wenn das Ocular mit einem Filarschraubenmicrometer versehen ist, so wird man die relative Lage der Hauptlinien wenigstens bei den helleren Sternen bestimmen können; das Verfahren besteht einfach darin, die Abstände der Linien in analoger Weise zu messen wie man die Distanz der Composanten eines vielfachen Sternes misst. Wollte man die absolute Lage der Linien messen, um sie mit den Linien der Sonne oder von Metallflammen zu vergleichen, sowie auch für ein Gestirn mit merklichem Durchmesser, so müsste man zu dem Spectroskope mit einem Spalte zurückgehen. Mit dem neunzölligen Refractor und hundertmaliger Vergrösserung erhielt Secchi ganz scharfe Spectren selbst der Sterne der fünften Grösse; die Sterne vierter Grösse gaben ihm Spectren von bemerkenswerther Klarheit. Indem er dieses Analysirungsverfahren auf sein Aequatoreal anwendete, das mit einem 300mal vergrössernden Oculare und einem Hoffmann'schen Prisma versehen war, konnte er nicht nur die genaue Lage der Linien des Anteres bestimmen, sondern auch die grünen Streifen, welche dieser Stern zeigt, in Bündel von scharfen und sehr deutlichen Linien auflösen; ebenso auch die von β Pegasi.

Digitized by Google

Gerardin's Eisenkohlenkette.

Gerardin hat das Zink in der Bunsen'schen Kette durch Feil- oder Drehspäne von Eisen ersetzt, in welche ein Eisenstreifen eingesetzt wird, der als Reophor dient. Zum Eisen wird gewöhnliches Wasser gebracht; die Kohle dagegen befindet sich in einer Auflösung von Eisenchlorid, zu dem etwas Königswasser hinzugefügt ist. Die verwendete Kohle besteht aus gepulvertem Retortenkoks mit einem Zusatz von Paraffin (nach dem Verfahren von Carlier). Man kann so mit geringem Kostenaufwande eine Kette von beträchtlichen Dimensionen und bedeutender Stärke herstellen.

(Compt. rend. LXII pag. 700.)

Hédouin, Anwendung der Elektricität zu unterseeischen Tiefen-Messungen.

Herr Hédouin schlägt vor, in das Kabel, an welches sich das Senkblei anschliesst, parallel neben einander zwei isolirte Drähte zu bringen. Sobald das Senkblei den Boden berührt, wird die Verbindung dieser beiden Drähte hergestellt, dadurch der Strom geschlossen und an einem electromagnetischen Glockenwerke ein Signal gegeben. Ein ähnlicher Vorschlag wurde bereits früher in den Petersburger Bulletins (1863, t. V. p. 157) von Schneider gemacht.

(Dingler's polytechn. Journal 1866. 2. Märzheft.)

Gervais Anwendung der Geissler'schen Röhren, um unter Wasser Licht zu erzeugen.

Man hat schon früher für submarine Zwecke und namentlich den Fischfang unter Wasser Licht erzeugt, indem man einen wasserdicht eingeschlossenen Kohlencylinder mittelst einer an Bord befindlichen Batterie zum Weissglühen brachte.

Hr. Gervais brachte zu dem gleichen Zwecke die Geissler'schen Röhren in Anwendung, indem er dieselben mit einem wasserdicht verschlossenen Kasten verband, in welchem sich zugleich die Batterie (zwei Elemente mit doppeltchromsaurem Kali gefüllt) und die Inductions-

Digitized by Google

spirale befand. Die von Herrn Gervais in einer Tiefe von mehreren Metern angestellten Versuche waren sehr befriedigend.

(Compt. rend. LX. p. 609.)

Zur Literatur über Kohlenlicht-Regulatoren.

In der Mittheilung des Herrn Dr. Krist (Bd. I. pag. 288 unseres Repertoriums) über den Foucault'schen Kohlenlichtregulator ist bereits eine Reihe älterer Einrichtungen dieses Apparates citirt. In neuester Zeit sind noch einige neue Einrichtungen hinzugekommen, worauf wir diejenigen unserer Leser, welche sich für diesen Gegenstand interessiren, hinweisen zu müssen glauben, nämlich folgende:

Lantin und Digney, Automatisch wirkender Regulator für das elektrische Kohlenlicht. Dingler's polytechn. Journal 2. Märzheft p. 429. Aus Armengaud's Génie industriel, Nov. 1865 p. 262 und

Gaiffe, Regulator für das elektrische Kohlenlicht. Dingler's Journal 2. Juniheft. Aus dem Bulletin de la Société d'Encouragement, Febr. 1866. XIII. p. 65.

Serrin, Régulateur de la lumière électrique. Les Mondes 1866. 16. août p. 666. Wir werden auf diese Einrichtung in einem der nächsten Hefte zurückkommen.

Molin's Electromagnetischer Motor.

Der verdienstvolle Herausgeber der Wochenschrift „Les Mondes" berichtet in der Nummer vom 12. Juli des laufenden Jahres über diesen Apparat folgendermaassen:

Unser Freund hat nun auf einem Kahne des Lac du Châlet im bois de Boulogne den Motor eingerichtet, welchen wir schon in der Werkstätte funktioniren sahen. Der gewählte Kahn ist wirklich gewaltig für einen Motor von so begrenzten Dimensionen; er ist von Eisen, mit flachem Boden, ohne Kiel und hinlänglich gross, um 14 bis 15 Personen aufzunehmen. Seine Belastung betrug an dem Tage, wo wir den Versuchen beiwohnten, mehr als dreitausend Kilogramms.

Der einfache und massive Motor besteht aus einem vertikalen Rade aus Messing, welches an jeder seiner Flanken mit 16 Armaturen versehen ist, die der Reihe nach von 16 Electromagneten angezogen

Digitized by Google

werden, welche an zwei dem Rade parallelen Kreisen befestigt sind und abwechselnd rechts und links vertikal stehen. Das mittlere Rad dreht sich nicht, es oscillirt nur um sein Centrum in der Art, dass jede der an ihm befindlichen Armaturen der Reihe nach mit einem Electromagneten in Contakt kommt, nachdem sie sich demselben genähert hat, angezogen durch die Attraction, welche die bewegende Kraft des Systemes bildet. Betrachtet man eine Gruppe von vier aufeinanderfolgenden Armaturen, so wird die erste oder entfernteste um $1^1/_2$ Millimeter, die zweite um 1 Millimeter, dritte um $^1/_2$ Millimeter vom Electromagneten abstehen, bei der vierten wird der Contakt eingetreten sein. Sobald der Contakt hergestellt ist, wird der Strom, der den Electromagneten wirksam machte, unterbrochen und dieser wird unwirksam; die Armatur verliert alsbald ihren Magnetismus, löst sich los und entfernt sich, um von Neuem in Contakt zu kommen, sobald die Reihe wieder an sie gelangt sein wird.

Der gute Gang des Apparates hängt vom regelmässigen Spiele des Commutators ab, dessen Berührungsstellen gegen die Einwirkung des Oeffnungs- und Schliessungs-Funkens geschützt und immer vollkommen blank sein müssen. Um diese letztere, sehr kitzliche Bedingung vollständig zu erfüllen, geht der Commutator des Grafen Molin in einem Troge, der mit Wasser gefüllt ist, in welchem etwas Pottasche aufgelöst wird und das man, so oft es zu schmutzig geworden ist, erneuert, indem man das alte durch einen Hahn abfliessen lässt.

Der den Motor in Gang setzende Strom wird von einer im Hintertheile aufgestellten Säule von 20 Bunsen'schen Elementen erzeugt.

Die durch die Attraction im Rade erzeugte lebendige Kraft wird auf einen Wellbaum übertragen, der mittelst zweier Vaucanson'scher Ketten zwei Wasserräder in Umdrehung versetzt, die bewegliche und herabhängende Schaufeln besitzen und an beiden Seiten des Kahnes angebracht sind.

Digitized by Google

Die selbstregistrirenden meteorologischen Instrumente der Sternwarte in Bern.

Von

Dr. H. Wild,

Professor der Physik an der Universität Bern und Director der Sternwarte daselbst.

Einleitung.

Die Einrichtung einer Reihe meteorologischer Stationen in den Kantonen Bern und Solothurn während des Jahres 1860 veranlasste mich der Direction des Innern des Kantons Bern im Anfang des folgenden Jahres den Vorschlag zu machen, auf der Sternwarte Bern eine meteorologische Centralstation zu begründen, welche nicht bloss die meteorologischen Beobachtungen auf den übrigen Stationen zu leiten und zu sammeln hätte, sondern auch durch selbstregistrirende Instrumente in den Stand gesetzt wäre, diese zu einer sehr beschränkten Zahl von Terminen (drei Male täglich) angestellten Beobachtungen durch fortlaufende Aufzeichnungen der letztern gewissermassen zu vervollständigen und so für die Wissenschaft nutzbringender zu machen.

Nach Genehmigung dieses Vorschlags durch den h. Regierungsrath wurden im Jahre 1861 ein selbstregistrirendes Thermometer und ein Wind- und Regenmesser, der sich indessen für den praktischen Gebrauch nicht befriedigend erwies, sodann im Jahre 62 ein Barometer, darauf im Jahre 63 ein zweites Thermometer und ein neuer Doppelapparat zur Registrirung der Richtung und der Geschwindigkeit des Windes, endlich im Jahre 64 ein Regenmesser angeschafft und in einem hauptsächlich für diesen Zweck errichteten Anbau an die Sternwarte aufgestellt.

Vom Beginn des meteorologischen Jahres 1864 (Dec. 1863) an erfolgte eine regelmässige Verarbeitung der Aufzeichnungen des zweiten Thermometers und des Barometers und von der Mitte desselben Jahres an geschah dasselbe auch für die Aufzeichnungen der neuern Wind- und Regenmesser. Die Hauptresultate dieser Verarbeitungen sind seit

Digitized by Google

dieser Zeit in den auf eidgenössische Kosten herausgegebenen Publicationen der schweizerisch meteorologischen Beobachtungen veröffentlicht worden. Nachdem also diese fünf Instrumente sich bereits während zwei Jahren durch sichere und allseitig befriedigende Function bewährt haben, halte ich es an der Zeit, dieselben genauer und namentlich unter Beigabe von Figuren allgemein verständlicher, als dies in den Mittheilungen der naturf. Gesellschaft in Bern bereits durch mich geschehen ist, zu beschreiben. So viel ich nämlich, sei es durch eigene Anschauung, sei es durch Beschreibungen und mündliche Mittheilungen von andern Instrumenten dieser Art habe in Erfahrung bringen können, zeigt mir, dass unsere Instrumente sich in jeder Beziehung den besten der übrigen an die Seite stellen, ja manche derselben durch Genauigkeit und Bequemlichkeit wohl übertreffen dürften.

Der Zusammengehörigkeit und Vollständigkeit halber habe ich die Beschreibung eines selbstregistrirenden Haar-Hygrometers und eines die fünf oben genannten Instrumente vereinigenden Universal-Registrirapparats, welche im Jahr 65 angefertigt worden sind, mit aufgenommen, obschon diese beiden Instrumente bis dahin noch nicht eigentlich durch längere Versuche geprüft worden sind.

I. Beschreibung der Instrumente.

1. Das Princip der Registrirung.

Meines Wissens sind bis dahin folgende 3 Hauptprincipe der Registrirung bei meteorologischen Apparaten zur Anwendung gekommen. Die älteste Methode bestand darin, an dem mit einem Bleistift versehenen Zeiger des betreffenden Instruments ein auf einem Rahmen aufgespanntes oder auf der Oberfläche eines Cylinders befestigtes Papier durch ein Uhrwerk gleichförmig vorüberzuführen, so dass der Bleistift auf dem Papier eine Curve verzeichnet, deren Abscissen der Tageszeit und deren Ordinaten dem jeweiligen Stande des Instrumentes entsprechen. Dieses Princip, das z. B. bei den Kreil'schen Registrirapparaten Verwendung gefunden hat, hat den Nachtheil, dass bei manchen Instrumenten die Empfindlichkeit derselben durch die nothwendige Reibung des Bleistiftes am Papier allzusehr beeinträchtigt wird. Ganz vollkommen in dieser Beziehung ist die von Brooke in grossem Maassstabe angewandte Methode, den jeweiligen Stand der Instrumente durch Photographie auf einem Papiere zu fixiren, welches wieder auf

Digitized by Google

der Oberfläche eines durch ein Uhrwerk in Rotation versetzten Cylinders befestigt ist und täglich erneuert wird. Doch erscheint dieses Princip für eine allgemeine Anwendung zu complicirt und kostspielig. Ich erwähne hier nur, was Reich[1]) über dieselbe sagt. Nachdem er als Hauptschwierigkeit die Darstellung eines hinlänglich empfindlichen Papiers angegeben hat, fährt er fort „überhaupt halte ich mich überzeugt, dass ohne die Hilfe eines mit den Handgriffen der jetzt in einem so hohen Grade vervollkommneten Photographie vertrauten Mannes sich nichts wird ausrichten lassen."

Nach der dritten Methode endlich bleibt der Zeiger des meteorologischen Instrumentes ganz frei und berührt für gewöhnlich mit der an ihm befestigten Spitze das unterliegende Papier nicht; nur zu gewissen Zeiten, z. B. alle 5 oder 10 Minuten drückt dann ein mit einem Uhrwerk verbundener Hebelapparat direct oder auf electromagnetischem Wege den Zeiger mit seiner Spitze in das Papier momentan ein, marquirt so den Stand desselben und schiebt nachher das Papier etwas weiter. Es gehören z. B. die Registrirapparate von Lamont hierhin. In diese Kategorie fällt denn auch die von Hipp an der Versammlung schweizerischer Naturforscher in Lausanne im Jahr 1860 beschriebene Methode, die wir bei unsern Instrumenten adoptirt haben. Sie besteht darin, durch eine Uhr zu den bestimmten Beobachtungsterminen den electrischen Strom einer galvanischen Batterie auf kurze Zeit schliessen zu lassen und in den Schliessungskreis der letztern bei den einzelnen Instrumenten Electromagnete einzuschalten, welche dann durch die Anziehung auf ihre Anker die sonst freien Zeigerspitzen in unter ihnen befindliches Papier eindrücken. Nach erfolgter Marquirung des Zeigerstandes wird der endlose Papierstreifen jedesmal durch die Rückbewegung des Ankerhebels um eine kleine Grösse fortgeschoben. Dieses System der electromagnetischen Marquirung auf einem endlosen Papierstreifen bietet den Vortheil dar, dass man nur einer Uhr zum Betrieb einer ganzen Reihe von Apparaten bedarf, und dass man die letztern Wochen lang ganz sich selbst überlassen kann.

Sämmtliche Instrumente sind nach meinen Angaben von dem Chef der eidgen. Telegraphen-Werkstätte in Bern, Herrn Hasler, ausgeführt worden. Es hat derselbe mit viel Geschick und Ausdauer die

1) Berichte aus den Verhandlungen der sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften zu Leipzig von 1859. S. 205.

Digitized by Google

mannigfachen Schwierigkeiten überwunden, welche sich, wie überall, so auch hier der praktischen Ausführung der Ideen entgegenstellten.

2. Das Thermometer.

Das Registrir-Thermometer ist seinen wesentlichen Theilen nach in halber natürlicher Grösse auf Tafel XXII dargestellt und zwar repräsentirt Fig. 1 den Aufriss und Fig. 2 den Grundriss desselben.

Der thermometrische Körper ist ein sogen. Metall-Thermometer nach dem Princip der Compensationstreifen. Es sind nämlich zwei Lamellen von Stahl und geschlagenem Messing ihrer ganzen Länge nach zusammengelöthet und zu einer flachen Spirale A aufgewunden. Das innere Ende dieser Spirale ist durch einen Stellstift und eine Schraubenklemme B unverrückbar unten an der Messingröhre C befestigt, welche über den vertikalen Theil eines ebenfalls röhrenförmigen Messingwinkels DD geschoben ist und mit der Zwinge E daran festgeklemmt werden kann. Der Messingwinkel D wird durch ein zweites Winkelstück FF mit einem Messing-Gussstück GG verbunden, das an dem einen Ende der seitlichen Messingplatte HH und der Bodenplatte JJ festgeschraubt ist. Am äussern Ende der thermometrischen Spirale ist ein leichter, zuerst nach oben gehender und dann horizontal umgebogener Messingzeiger KK angenietet, der durch einen horizontalen Schlitz des Winkelstückes F hindurchgeht und an seinem äussersten Ende zunächst das in einem Schlitz um eine horizontale Axe a drehbare Messingplättchen b besitzt. In einer vertikalen Durchbohrung des letztern lässt sich ein unten in die Spitze c, oben in einen runden Knopf auslaufender Stahlcylinder c verschieben und vermittelst einer in der Zeichnung fortgelassenen Schraube festklemmen. Da der Schwerpunkt des Messingplättchens von der Drehungsaxe a aus nach dem Zeigerende zu fällt, so legt sich dasselbe vermöge des Uebergewichtes immer an die nach dem Ursprung des Zeigers hinliegende Wand des Schlitzes an.

Der Zeiger der thermometrischen Spirale bewegt sich frei zwischen den Zinken der horizontalen Gabel dd, welche durch einen Einschnitt L der seitlichen Messingplatte H hindurchgeht und mit ihrem umgebogenen Ende ee an einen Arm des um die Axe M drehbaren Hebels N angeschraubt ist. Die Axe M dieses Hebels wird von der seitlichen Messingplatte H getragen. Eine Spiralfeder O, welche bei P in den Hebel eingehängt und an ihrem andern Ende durch das Säulchen Q

Digitized by Google

mit der Seitenplatte H fest verbunden ist, zieht den betreffenden Hebelarm stets herunter, bis die Spitze der in ihm steckenden Schraube R auf dem ebenfalls von der Seitenplatte H getragenen Anschlage S aufliegt. (Diese sowie die nächstfolgenden Theile sind abgesehen von ihrer relativen Stellung aus Tafel XXIV, Fig. 1 deutlicher zu ersehen als aus Fig. 1 dieser Tafel; sie finden sich daselbst mit denselben Buchstaben bezeichnet.) Am andern Arme des Hebels ist etwas näher an der Drehungsaxe als die Gabel der aus weichem Eisen bestehende Anker U des Electromagnets V festgeschraubt. Die Schraube R' im Hebel oberhalb des einen Magnetpols dient dazu, bei der Anziehung des Magneten auf den Anker durch Aufschlagen ihrer Spitze auf den Magnetpol die Berührung von Anker und Pol zu verhindern. Die Schrauben R und R' reguliren also die Grösse der Winkelbewegung des Ankerhebels und sind desshalb nach erfolgter Justirung durch die Muttern T und T' festzustellen. Am äussersten Ende endlich des Ankerhebels ist ein nach unten gehender Hacken W eingelenkt, der in die Zähne eines Zahnrades X (Tafel XXIV, Fig. 1) eingreift.

Dieses Zahnrad sitzt auf der Axe ff eines an seiner Peripherie rauh gemachten Messingcylinders gg, gegen welchen durch die Federn hh ein zweiter entsprechender Cylinder KK angedrückt wird, der ebenfalls um eine Axe ii drehbar ist. Die Zapfen der beiden Cylinder werden einerseits von der seitlichen Platte H, anderseits von einem Messingstück H' getragen, das an einem dem Gussstück G entsprechenden, mit der Seitenplatte H und der Bodenplatte J ebenfalls fest verbundenen Stücke G' angeschraubt ist. Zwischen den beiden Walzen geht der Papierstreifen l hindurch, der auf einem um die Stahl-Axe m drehbaren Zapfen nn zwischen zwei kreisförmigen durchbrochenen Messingplatten oo aufgewickelt ist. Die Axe m ist ebenfalls an der Seitenplatte H befestigt; schraubt man die Mutter p los, so kann man behufs Erneuerung des Papiers die Rolle nach der andern Seite von ihr abziehen. Zwischen dieser Rolle und den Walzen geht endlich der Papierstreifen über den eben gemachten oberen Rand q des Gussstückes G' hin und wird durch eine Messing-Lamelle Y vermittelst zweier von den Schrauben r gehaltenen Spiralfedern s gegen diesen angedrückt. Ein in die Mitte der Lamelle eingelassenes Stück Z trägt eine in der Zeichnung nicht angegebene kleine Rolle mit scharfem Rande, welcher in der Unterlage q eine Vertiefung entspricht.

Zum Schutz gegen Staub u. dergl. ist der ganze Apparat mit

Digitized by Google

Ausnahme der Spirale und ihres Trägers bis *F* von einem zerlegbaren Gehäuse von Glas und Mahagoni-Holz umgeben. An der Aussenseite des letztern befinden sich zwei Klemmschrauben, die mit den Enden des auf die Schenkel des Electromagnets aufgewundenen Drahts in Verbindung stehen und zur Einschaltung des Instrumentes in die Schliessung der galvanischen Batterie dienen. Wird die letztere durch die Uhr geschlossen, so umkreist der Strom die Schenkel des Electromagnets *V*, die Anziehung des letztern auf seinen Anker *U* überwindet jetzt die Spannkraft der Feder *O* und die linke Seite des Hebels geht herunter, bis die Schraube *R'* auf den Pol aufstösst. Durch diese Bewegung des Ankerhebels wird einmal die Gabel *d* heruntergedrückt, so dass ihr oberer Theil auf den Zeiger stösst und so die am Ende desselben befindliche Spitze *c* in das Papier darunter einsticht. Das letztere kann dabei nicht zurückgehen, da es einerseits zwischen den beiden Walzen und anderseits zwischen der Lamelle *Y* und ihrer Unterlage *q* festgeklemmt und so straff gespannt ist. Durch das kleine Loch, das man hiedurch im Papiere erhält, wird der Stand des Thermometerzeigers fixirt. Die gleiche Bewegung des Ankerhebels bewirkt anderseits, dass der Hacken *W* am Ende desselben in den nächst tiefer liegenden Zahn des Zahnrades *X* gerade einfällt — es wird dies durch Regulirung der Schrauben *R* und *R'* erreicht, während das mehr oder minder tiefe Einstechen der Spitze in's Papier durch eine Verschiebung des Stiftes *c* in dem Metallplättchen *b* geregelt wird. — Nach erfolgter Oeffnung des Stroms und Verschwinden des Magnetismus im Eisen des Electromagnets zieht die Feder den Ankerhebel wieder in die frühere Lage zurück und vermittelt durch diese Rückbewegung ein Fortschieben des Papiers und das Herausziehen der Zeigerspitze aus demselben, sowie die ungestörte Beweglichkeit des Zeigers bis zur folgenden Marquirung. Indem nämlich das linke Ende des Hebels wieder heraufgeht, bewirkt es vermittelst des Hackens *W* eine Drehung des Zahnrades *X* um einen der Grösse eines Zahnes entsprechenden Bruchtheil einer ganzen Umdrehung. Mit dem Zahnrad dreht sich aber gleichzeitig auch die Walze *g* und vermittelst Reibung die zweite *k*, so dass das zwischen beiden befindliche Papier um einen der Drehung entsprechenden Bruchtheil der Peripherie — ungefähr 1^{mm} — fortgezogen wird. Diese Fortschiebung des Papiers beginnt gleich mit der Rückbewegung des Ankerhebels, also ehe die Zeigerspitze das Papier verlassen hat, würde somit, wenn diese fest mit dem Zeigerende

Digitized by Google

verbunden wäre, durch sie gehemmt werden. Die beschriebene Drehbarkeit des Stiftes *c* mit seinem Träger am Ende des Zeigers macht, dass derselbe zunächst der Bewegung des Papiers folgen kann und dann, wenn er durch die Rückbewegung der Gabel *d* ganz aus dem Papier herausgehoben worden ist, von selbst in seine normale Stellung zurückfällt.

Damit bei der raschen Rückbewegung des Ankerhebels durch den Stoss des Hackens das Zahnrad nicht um mehr als einen Zahn fortgehen könne, ist am Ende des Hebels noch ein in die Zähne einfallender, in der Zeichnung fortgelassener Widerhacken angebracht.

Die Zeigerspitze bewegt sich nun wegen der verschiedenen Ausdehnung der beiden Metalle der Spirale nach der einen oder andern Seite, je nachdem die Temperatur fällt oder steigt; wird also der Strom der galvan. Batterie in aufeinanderfolgenden gleichen Zeitintervallen je eine kurze Zeit lang geschlossen, so werden die Punkte, welche der Reihe nach auf dem Papierstreifen durch die Zeigerspitze marquirt werden, in ihrer Folge eine Art Curve darstellen, deren Abscissen den Zeiten und deren Ordinaten den jeweiligen Temperaturen des Raumes entsprechen, in welchem die thermometrische Spirale *A* sich befindet. Sollen diese Temperaturen aus den Aufzeichnungen absolut bestimmt werden, so ist zunächst eine Ausmessung der Ordinaten der Temperatur-Curve nothwendig. Man könnte zu dem Ende den Rand des Papierstreifens als Ausgangspunkt benutzen, wenn man sicher wäre, dass derselbe bei der Fortschiebung nicht seitlich verschoben würde. Da indessen diese Bedingung in Wirklichkeit nicht genau zu erfüllen ist, so hat man es vorgezogen, ungefähr in der Mitte des Papierstreifens durch die kleine Rolle im Stück *Z* eine Längsfurche ziehen zu lassen, welche wir in der Folge schlechtweg die Mittellinie nennen werden und von welcher an man die Ordinaten nach oben und unten misst. Wenn der Zeiger mit seiner Spitze über dieser Mittellinie steht, so soll die Temperatur der Spirale annähernd der Mitteltemperatur des Beobachtungsortes entsprechen. Ist diese Bedingung nicht erfüllt, so kann man ihr leicht dadurch genügen, dass man die Klemme *E* löst und die Spirale mit der Röhre *C* nach der einen oder andern Seite um eine entsprechende Grösse dreht. Um nun aus der Ausmessung der Ordinaten der Temperatur-Curve resp. also der Entfernungen der Punkte von der Mittellinie auf die Temperaturen der Spirale schliessen zu können, ist erforderlich, dass diejenige Temperatur der letztern genau

Digitized by Google

bestimmt werde, bei welcher der Markirpunkt der Spitze auf die Mittellinie fällt und dass der Werth bestimmter Ausschläge der Zeigerspitze in Temperaturgraden ermittelt werde. Zur sichern Ausführung dieser Fundamental-Bestimmungen ist sowohl dem Zeiger als dem Träger der Spirale die besondere in der Zeichnung dargestellte Form gegeben worden. Diese ermöglicht nämlich, von unten unbeschadet der Beweglichkeit des Zeigers ein Gefäss mit Wasser über die Spirale hinaufzuschieben, so dass sie ganz in das Wasser eintaucht, und so dieselbe auf verschiedene, vermittelst eines in das Wasserbad eintauchenden Thermometers genau zu messende Temperaturen zu bringen. Bei unserem Instrumente wurde zu dem Ende ein doppelwandiges cylindrisches Zinkgefäss, bei welchem der Zwischenraum zwischen beiden Wänden mit Baumwolle ausgefüllt war, über die Spirale geschoben, das Wasser darin durch Eis und Zugiessen von warmem Wasser auf verschiedene Temperatur gebracht, das Thermometer abgelesen, wenn dieselbe nach längerem Umrühren je constant geworden war, und dann zu gleich durch Niederdrücken eines Tasters in der Nähe ein electrischer Strom geschlossen, welcher die Markirung des Stands der Zeigerspitze bewerkstelligte. Die 12 Beobachtungen, die man in dieser Weise anstellte, lassen sich, wenn die Ausschläge der Zeigerspitze der Temperatur proportional erfolgen offenbar nach der Formel:

1. $$t - x = \pm a \, . \, y$$

darstellen, wo t die beobachtete Temperatur, x die gesuchte der Mittellinie entsprechende Temperatur, a die Entfernung des der Temperatur t entsprechenden Markirpunktes von der Mittellinie (+ wenn sie nach oben und — wenn sie nach unten gerichtet sind), endlich y der der Einheit der Entfernung entsprechende Werth in Temperaturgraden, den wir ebenfalls suchen. Als Einheit für t wählte man Celsius'sche Grade — das Thermometer war genau verificirt — als Einheit für die Abmessung der Entfernungen a Millimeter und erhielt dann folgende 12 Gleichungen nach dem Schema der obigen Formel:

$$\begin{aligned}
5{,}3 - x &= -1{,}3\,y \\
10{,}3 - x &= 6{,}8\,y \\
15{,}5 - x &= 15{,}8\,y \\
19{,}0 - x &= 21{,}4\,y \\
20{,}6 - x &= 24{,}0\,y \\
21{,}1 - x &= 24{,}5\,y \\
21{,}9 - x &= 26{,}1\,y
\end{aligned}$$

Digitized by Google

$$23{,}6 - x = 29{,}5\,y$$
$$25{,}6 - x = 31{,}7\,y$$
$$26{,}0 - x = 33{,}0\,y$$
$$26{,}4 - x = 33{,}6\,y$$
$$26{,}5 - x = 33{,}7\,y.$$

Berechnet man hieraus nach der Methode der kleinsten Quadrate die Werthe von x und y, so findet man:

$$x = 6{,}^{0}054 \qquad y = 0{,}^{0}60494.$$

Ist nun unsere obige Voraussetzung, dass die Ausschläge der Zeigerspitze der Temperatur proportional erfolgen, wirklich bei unserm Apparat erfüllt, so müssen die mittelst dieser Werthe von x und y und den einzelnen Daten für a nach der Formel 1. rückwärts berechneten Werthe von t innerhalb der Beobachtungsfehler mit den beobachteten Grössen übereinstimmen. Die folgende Tafel gibt die beobachteten und berechneten Werthe von t und ihre Differenzen:

Beobachtung	Berechnung	Differenz
5°,3	5°,26	0°,04
10,3	10,17	0,13
15,5	15,61	— 0,11
19,0	19,00	0,00
20,6	20,57	0,03
21,1	20,87	0,23
21,9	21,84	0,06
23,6	23,90	— 0,30
25,1	25,23	— 0,13
26,0	26,01	— 0,01
26,4	26,38	0,02
26,5	26,44	0,06

Die mittlere Differenz beträgt $\pm 0^{0},093$, die vollständig innerhalb die Grenzen der Beobachtungsfehler fällt; es sind somit, wie übrigens früher und später ähnliche Beobachtungen bei gleichen Spiralen ebenfalls ergeben haben, die Ausschläge in der That der Temperatur proportional zu setzen. Die grosse Uebereinstimmung im Gange dieser Metallthermometer mit dem des Quecksilberthermometers beruht meines Erachtens hauptsächlich auf dem Umstande, dass hier keinerlei Fühlhebel zur Anwendung kommen.

Die der Mittellinie entsprechende Temperatur war also dem Obigen zufolge: 6°,054, die Mitteltemperatur von Bern ist aber ungefähr 8°;

Digitized by Google

es wurde desshalb die Spirale etwas verstellt, so dass nach nochmaliger Normalpunktsbestimmung die der Mittellinie entsprechende Temperatur dann 9°,234 wurde. Von da an waren also aus den Aufzeichnungen des Instrumentes die Temperaturen t in Celsius'schen Graden nach der Formel:

$$t = 9°,23 \pm 0,6049 \cdot a$$

zu berechnen, wo also $\pm a$ die in Millimeter ausgedrückten Entfernungen der betreffenden Markirpunkte nach oben oder unten von der Mittellinie aus darstellen. Der einem Celsius'schen Grade entsprechende Ausschlag der Zeigerspitze ist also hienach:

$$1° \text{ C.} = \frac{1}{0,6049}^{mm} = 1,653^{mm}.$$

Da nun der Papierstreifen 100^{mm} breit ist, so entspricht diese Breite einer möglichen Temperatur-Variation von 60° C., welche wohl in Bern nicht überschritten wird. Um die Bestimmung der Temperatur aus den Aufzeichnungen für die Praxis noch weiter zu vereinfachen, liess ich der vorstehenden Zahl gemäss eine Theilung auf durchsichtigem Hornpapier durch die Herren Hermann und Studer, Mechaniker dahier, anfertigen, bei welcher die einzelnen Theilstriche um $1,653^{mm}$ von einander abstanden (der Raum von $165,3^{mm}$ wurde mit der Theilmaschine in 100 gleiche Theile getheilt) und wo dann bei der der Mittellinie entsprechenden Temperatur 9°,23 noch ein besonderer roth eingelassener Strich gezogen war. Bringt man beim Auflegen dieses Blattes auf den Papierstreifen diese rothe Linie mit der Mittellinie zur Coïncidenz, so kann man die den einzelnen Markirpunkten entsprechenden Temperaturen an dieser Scale unmittelbar wie an einer Thermometerscale ablesen und zwar wegen der Grösse der Grade sehr leicht mit einer Genauigkeit von 0°,1.

Es frägt sich nun noch, ob diese einmal bestimmte Scale unsers Thermometers auch im Laufe der Zeit unverändert bleibe, oder ob wie bei gewöhnlichen Quecksilber-Thermometern der Nullpunkt herauf- oder herunterrücke, ja vielleicht sogar der Werth eines Grades ein anderer werde. Die vorstehenden Bestimmungen waren im October 1863 gemacht worden und wurden zur Entscheidung dieser Frage im August 1864 wiederholt. Aus 32 analogen Temperaturbeobachtungen, bei welchen die Temperaturen zwischen 7°,1 und 33°,4 schwankten, berechneten sich nach der Methode der kleinsten Quadrate die in der folgenden Reductionsformel enthaltenen Constanten:

Digitized by Google

$$t = 9^0{,}61 \pm 0{,}6048 \cdot a.$$

Es ist also wieder:

$$1^0 \text{ C.} = 1{,}653^{mm}$$

und es hat sich somit innerhalb eines Jahres der Werth eines Grades nicht merklich verändert, dagegen ist die der Mittellinie entsprechende Temperatur während dieser Zeit um $0^0{,}38$ gestiegen.

Ende November 1864 wurde das Thermometer bei der Aufstellung eines zweiten Instrumentes auf demselben Pfahle starken Erschütterungen ausgesetzt, in Folge deren die der Mittellinie entsprechende Temperatur gemäss neuen Normalpunktbestimmungen im Januar 1865 um $1^0{,}01$ sich geändert hatte, nämlich $8^0{,}60$ entsprach. Die letzte vorliegende Bestimmung endlich von Normalpunkten, an diesem Thermometer angestellt im Januar 1866, ergab für die Temperatur der Mittellinie den Werth: $8^0{,}00$.

Es folgt also aus diesen Daten, dass unser Instrument, wenn es nicht starken Erschütterungen ausgesetzt wird, in einem Jahre seinen Normalpunkt durchschnittlich um nicht mehr als $0^0{,}5$ C. verändert, d. h. also um eine Grösse, welche die der Normalpunktveränderungen bei gewöhnlichen Quecksilberthermometern kaum überschreitet. Wenn man also nur etwa halbjährlich eine neue Normalpunktsbestimmung wie bei einem gewöhnlichen Thermometer macht, so bedarf man bei unserm Registrirthermometer keiner weitern Controlbeobachtungen, um später aus seinen Aufzeichnungen die Temperaturen mit einer Genauigkeit von $0^0{,}1$ bis $0^0{,}2$ C. ableiten zu können.

Die geringe Veränderung des Normalpunkts beim vorliegenden Instrument ist hauptsächlich der Vorsicht zuzuschreiben, dass das feste innere Ende der Spirale sehr solide und durchaus metallisch mit dem Träger der die Mittellinie ziehenden Rolle verbunden ist. Bei einem älteren Instrumente der Art, wo diese Verbindung theilweise aus Holz bestand, änderte sich der Normalpunkt im Laufe des Sommers um 1^0 C.

Damit der Stahl der Spirale unter dem Einfluss der Luftfeuchtigkeit und beim Eintauchen in's Wasser behufs Bestimmung der Normalpunkte nicht roste, ist die Spirale mit einem dünnen Ueberzug von gutem Bernsteinfirniss versehen worden. Erfahrungen an dem schon erwähnten ältern Instrumente hatten nämlich gezeigt, dass ein solcher viel bessere Dienste thue, als eine noch so sorgfältig ausgeführte Vergoldung der Spirale.

Digitized by Google

Das beschriebene Instrument ist bestimmt, die Temperatur der freien Luft anzugeben. Ich liess es daher auf der ganz freien Terrasse des Anbaus an die Sternwarte auf einem 1,2 Meter hohen Pfahle an der nördlichen Ecke derselben, 5 Meter über dem Erdboden aufstellen. Zu dem Ende wurde auf den Pfahl ein Holzgehäuse gesetzt, das um eine in denselben eingelassene vertikale eiserne Axe drehbar ist und aus zwei fast ganz getrennten Abtheilungen besteht. In der ersten ringsum geschlossenen und mit einer Thüre versehenen Abtheilung befindet sich der registrirende Theil des Apparates mit seinem besonderen Gehäuse von Glas und Holz; die thermometrische Spirale und ihr metallischer Träger ragen durch eine Oeffnung in die zweite Abtheilung hinein, die zur vollständigen Abhaltung der directen Sonnenstrahlung einen doppelwandigen, nur nach unten und nach Norden zu offenen Holzkasten repräsentirt. Zur Vermeidung endlich der störenden Strahlung gegen die innern Wände dieses Kastens, gegen den kalten Weltraum und den Erdboden ist innerhalb der erstern die thermometrische Spirale nach den von mir angegebenen Principien [1]) noch von einem Gehäuse von Zinkblech umgeben, welches durch Zusammensetzung aus einer Reihe getrennter, aber übereinandergreifender Theile gleichwohl hinlänglich weite Oeffnungen auf allen Seiten darbietet, um der Luft freien Zutritt zur Spirale zu gestatten.

3. Das Barometer.

Das Registrirbarometer ist ein sogen. Wagbarometer, wie es zuerst von Secchi in Rom angegeben worden ist. Das Wagbarometer bietet in seiner Anwendung zur Selbstregistrirung so wesentliche Vortheile dar gegenüber der früheren Methode der Registrirung des Barometerstandes durch einen Schwimmer im offenen Schenkel eines Heberbarometers, dass man sich nur verwundern muss, seit der Erfindung desselben noch oft Registrirbarometer nach diesem ältern Principe neu construirt zu sehen. Die treibende Kraft oder die Empfindlichkeit für die Registrirung kann nämlich beim Wagbarometer beliebig dadurch vergrössert werden, dass man die Barometerröhre von grösserm Durchmesser nimmt, sodann lässt sich das Instrument, wie wir sehen werden, leicht so einrichten, dass man mit Hülfe eines Kathetometers unmittelbar an ihm selbst den Barometerstand ablesen und so seine

[1]) Mittheilungen der naturf. Gesellschaft in Bern, Nr. 450—454.

Digitized by Google

Graduirung vornehmen kann; endlich, und es ist dies der Hauptvortheil, bedürfen seine Angaben keiner Reduction auf den Nullpunkt der Temperatur. Da nämlich bei demselben das Gewicht und nicht blos die Höhe der vom Luftdrucke gehobenen Quecksilbersäule gemessen wird, so hat die Temperatur auf seine Angaben keinen Einfluss.

Die Barometerröhre unsers Instruments *A* Fig. 1 Taf. XXIII hat in ihrem untern Theil einen innern Durchmesser von blos 6 mm, am obern Ende aber ist ein Gefäss *B* von 32 mm innerm Durchmesser angeschmolzen, dessen cylindrischer Theil eine Höhe von 60 mm besitzt. Unten taucht die zu einer Spitze ausgezogene Röhre in ein 50 mm in's Quadrat haltendes und 120 mm hohes, halb mit Quecksilber gefülltes Holzgefäss ein, bei welchem zwei gegenüberstehende Wände durch Spiegelglasplatten gebildet werden. Vermittelst des Bügels *C*, der den engern Theil der Röhre bei *D* umschliesst, ist die Barometerröhre durch das Zwischenstück *Q* am einen Arm des Wagbalkens *I* aufgehängt. Zwischen diesem Bügel und dem weitern Theil der Röhre befindet sich noch ein die Röhre umschliessender Ring mit zwei diametral gegenüberstehenden Oeffnungen, welcher in beliebiger Höhe durch die Klemme *E* am Bügel *C* festzustellen ist (siehe auch die Fig. 2). Der Wagebalken *I* dreht sich um die scharfe Kante der Stahlschneide *x*, sein zweiter Arm ist nach unten gebogen und läuft da in eine Stahlstange *II* mit verschiebbarem Laufgewicht *III* aus; endlich besitzt der Balken einen dünnen, federnden Zeiger *K*, der an seinem Ende wie der Zeiger des Registrirthermometers mit einer beweglichen, hier aber horizontal nach hinten gestellten Spitze versehen ist, wie aus der Fig. 3 deutlicher erhellt. Die Schneide des Wagebalkens ruht auf Stahlpfannen, die in einen scheerenförmigen Träger eingelassen sind, und dieser Träger ist unmittelbar an der metallischen Grundplatte des Apparats befestigt, auf welcher auch die zur Registrirung des Zeigerstandes bestimmten Theile desselben angeschraubt sind. Dieselben sind in der Tafel XXIII nur angedeutet, da sie im Wesentlichen genau gleich sind wie beim Registrirthermometer (die entsprechenden Theile sind mit denselben Buchstaben bezeichnet). Der Unterschied besteht fast allein darin, dass der Papierstreifen hier vertikal von oben nach unten sich bewegt.

Die vertikale metallene Grundplatte des Apparats ist an einem 3 cm dicken eichenen Brette festgemacht, an welchem weiter unten ein in der Höhe verstellbares Tischchen von Mahagoniholz befestigt ist, das dem untern Quecksilbergefäss des Barometers zum Träger dient.

Digitized by Google

Dieses eichene Brett bildet nun gleichzeitig die Rückwand eines mit einer Thüre versehenen Gehäuses von Glas und Mahagoniholz und ist unmittelbar an der Wand des Zimmers im Innern eines grössern Glasschrankes des erwähnten Anbaus an die Sternwarte angeschraubt.

Die Registrirung des Zeigerstandes des Wagebalkens erfolgt ebenfalls in ganz entsprechender Weise wie beim Thermometer und bedarf desshalb keiner weitern Erörterung. Der Zeigerstand aber wechselt wie leicht ersichtlich mit dem Barometerstand in der Art, dass bei wachsendem Luftdruck, wo mehr Quecksilber in das obere Gefäss der Barometerröhre tritt, der Zeiger in Folge des Uebergewichts auf dieser Seite nach rechts ausschlägt, dagegen bei abnehmendem Barometerstand nach links sich bewegt. Das Gleichgewicht wird wie bei den sogen. Sortirwagen je dadurch wieder hergestellt, dass der Hebelarm, an welchem das Laufgewicht *III* wirkt, sich vergrössert oder verkleinert, während derjenige, der dem Aufhängepunkt des Barometerrohrs entspricht, sich ziemlich gleich bleibt. Die Markirpunkte im Papier werden somit auch hier in ihrer Reihenfolge eine Art Curve darstellen, deren horizontale Coordinaten den jeweiligen Barometerständen entsprechen.

Durch einige Vorversuche wurde zunächst der Apparat wieder in der Art regulirt, dass beim mittlern Barometerstand die Zeigerspitze sich annähernd über der durch die kleine Rolle gezogenen Mittellinie befand und das Quecksilberniveau im obern Theil der Barometerröhre annähernd in die Mitte desselben fiel. Es liess sich dies leicht durch Heben und Senken des unteren Quecksilbergefässes, sowie durch Verschiebung des Laufgewichts erreichen. Darnach schritt man zu den Fundamentalbestimmungen behufs Reduction der Aufzeichnungen auf in Millimetern auszudrückende Barometerstände. Ein erster Versuch dazu, bei welchem man Beobachtungen an einem gewöhnlichen Stationsbarometer mit den gleichzeitigen Aufzeichnungen unsers Instruments verglich, gab wohl hauptsächlich desshalb sehr unbefriedigende Resultate, weil diese beiderlei Beobachtungen eigentlich nicht unmittelbar zu vergleichen waren. Während nämlich einerseits die Depression des Quecksilbers in der Röhre des Wagbarometers Null ist, in der blos etwa 9^{mm} weiten Röhre des Stationsbarometers dagegen noch einen ziemlichen und variabeln Betrag erreicht, hat anderseits auf die Aufzeichnungen des Wagbarometers die Adhäsion einen für solche Vergleichungen sehr störenden Einfluss. So lange nämlich das Quecksilber in der Röhre des Wagbarometers steigt, zeigt die Oberfläche desselben

Digitized by Google

stets sehr nahe dieselbe in der Mitte ebene, an den Rändern convexe Gestalt; fällt dagegen das Quecksilber, so hängt es sich an der Glaswandung wie bei gewöhnlichen Barometern an und die Oberfläche wird, wenn auch nicht convex, so doch häufig bis zum Rande ganz eben; in diesem Falle ist also der Meniscus mit Quecksilber angefüllt. Es wird desshalb unsere Röhre bei gleichem Barometerstande schwerer sein, wenn der letztere abnimmt als wenn er zunimmt, also auch bei gleichem Barometerstande in diesen beiden Fällen der Zeiger eine andere Stellung einnehmen. Bei gewöhnlichen Barometern sucht man dieses störende Anhängen des Quecksilbers durch Klopfen an der Röhre zu beseitigen; beim Wagbarometer kann dies viel vollkommener dadurch erreicht werden, dass man die Röhre vor der Beobachtung resp. Registrirung etwas aus dem Quecksilbergefäss unten emporhebt; überlässt man dann das Instrument wieder sich selbst, so kehrt jetzt, wenn auch im Allgemeinen das Barometer im Fallen begriffen ist, das Quecksilber doch durch Ansteigen zu seinem ursprünglichen Stand zurück und erhält so seine normale convexe Oberfläche. Zur Zeit ist nun bei unserm Instrumente noch keine Vorrichtung angebracht, welche dieses Emporziehen der Röhre je vor der Registrirung des Zeigerstandes besorgte und dadurch also dieses allfällige störende Anhängen des Quecksilbers an der Glaswandung beseitigte. Für die Registrirungen im Ganzen genommen hat dieser Uebelstand eine um so geringere Bedeutung, da dadurch blos das Fallen des Barometers in der Registrirung etwas verzögert wird, vielleicht auch die absoluten Minima etwas geringer ausfallen.[1]) Bei der Vergleichung dagegen einzelner Aufzeichnungen mit gleichzeitigen Messungen an andern Barometern machen sich die daraus entspringenden Fehler, da sie bis zu 1^{mm} ansteigen, sehr fühlbar. Sie verschwinden, wenn man bei solchen Vergleichungen die Vorsicht anwendet, je kurz vor der Registrirung die Röhre des Wagbarometers etwas emporzuziehen. Dieses Verfahren wurde bei den definitiven Fundamentalbestimmungen mit Erfolg eingeschlagen, zugleich aber auch der ursprünglichen Absicht gemäss noch eine weitere Vervollkommnung eingeführt. Der beschriebenen Einrichtung und Herstellung zufolge stellt nämlich unser Wagbarometer zugleich ein sehr

[1]) Das ist denn auch vorzugsweise der Grund, wesshalb bis dahin die eben erwähnte Vorrichtung noch nicht angebracht ist, obschon dieselbe mit geringen Kosten und ohne störende Complication des Apparates auszuführen wäre.

Digitized by Google

vollkommenes Normalbarometer dar, bei dem man vermittelst eines vor dem Instrumente aufgestellten Kathetometers die wegen der Weite der Röhre von der Capillarität ganz unabhängige Niveaudifferenz des Quecksilbers in der Röhre und im Gefäss unten genau messen kann. Damit diese Messungen fundamentale Bedeutung haben, war noch nothwendig, sich zu versichern, dass der Raum oberhalb des Quecksilbers in der Röhre hinlänglich leer und das Quecksilber selbst rein sei, d. h. das richtige specifische Gewicht habe. Das Erstere wurde nach der Arago'schen Methode untersucht und gefunden, dass die allfällig im Vacuum vorhandene Luft den Barometerstand noch nicht bis zu $^1/_{50}{}^{mm}$ afficire; das specifische Gewicht des sorgfältig gereinigten Quecksilbers fand ich gleich 13,5956 bei 0°, also blos um 0,0003 geringer als der von Regnault bestimmte Werth, welche Differenz den Barometerstand nur um 0,016 mm unrichtig macht.[1]) Für die Messungen der Barometerhöhen benutzte ich das von Hermann & Studer dahier ausgeführte, vortrefflich gearbeitete Kathetometer des physikalischen Kabinets, welches seiner ganzen Construction nach bei derartigen Bestimmungen eine Genauigkeit von $^1/_{50}{}^{mm}$ zu errreichen gestattet. Der Fehler der Theilung ist nachträglich durch Vergleichung mit dem schweizerischen, in Paris verificirten Muttermeter ermittelt worden. Dasselbe kam vor dem Glasschrank in 1 Meter Entfernung vom Instrumente auf einen soliden hölzernen Dreifuss zu stehen, der seinerseits auf einer, in einen Ausschnitt des Zimmerbodens eingelassenen, unmittelbar auf dem Kellergewölbe ruhenden Steinplatte stand, wodurch die Messungen von den Erschütterungen des Zimmerbodens unabhängig wurden. Der verschiebbare Ring E am Bügel C mit seinen Ausschnitten dient dazu, die Beleuchtung der Quecksilberoberfläche so zu reguliren, dass dieselbe, wie dies für die Einstellungen des Fernrohrs nothwendig ist, hell auf dunklem Grunde erscheint. Die Temperatur der Scale wurde an einem am Kathetometer selber eingelassenen Thermometer bestimmt, diejenige des Quecksilbers dagegen an einem andern Thermometer abgelesen, das in eine besondere mit Quecksilber gefüllte und unmittelbar neben dem Barometer aufgestellte Röhre so tief eintauchte, dass sein Gefäss ungefähr in einer der Mitte der gehobenen Quecksilbersäule im Barometer entsprechenden Höhe sich befand. — In dieser

[1]) Einen genauen Nachweis dieser Bestimmungen halte ich hier für überflüssig; ich werde ihn später anderwärts geben.

Digitized by Google

Weise wurden im Laufe des Octobers und zu Anfang des Novembers 1863 im Ganzen 38 Messungen mit dem Kathetometer gemacht, bei welchen der Barometerstand von 700 bis 723 mm variirte. Die Reduction der letztern auf 0° berechnete man nach der Formel:

$$h_0 = h_t \ (1 - 0{,}00016275 \ . \ t),$$

indem man für den linearen Ausdehnungscoëfficienten des Messings der Scale 0,000018782 und für den kubischen des Quecksilbers 0,00018153 annahm. Setzt man nun wieder die Ausschläge der Zeigerspitze als den Aenderungen des Barometerstandes proportional voraus, so lassen sich die auf 0° reducirten Barometerstände h, zusammengehalten mit den gleichzeitigen Aufzeichnungen des Wagbarometers, nach der Formel:

$$h - x = \pm b \ . \ y$$

darstellen, wo x den gesuchten, der Mittellinie entsprechenden Barometerstand, b die Entfernung des dem Barometerstand h entsprechenden Markirpunktes von der Mittellinie, endlich y den gesuchten, der Einheit der Entfernung entsprechenden Werth in Millimetern des Barometerstandes repräsentirt. Man erhielt so 38 Gleichungen, aus denen man wieder nach der Methode der kleinsten Quadrate die Unbekannten x und y bestimmte. Es ergab sich:

$$x = 712{,}428^{mm}, \ y = 0{,}43556.$$

War unsere Voraussetzung richtig, so musste wieder die Rückberechnung der Werthe von h aus den einzelnen Daten für b vermittelst dieser Werthe von x und y Zahlen liefern, welche innerhalb der Beobachtungsfehler mit den gegebenen übereinstimmten. Die mittlere Differenz der beobachteten und berechneten Werthe von h betrug nun: $\pm$ 0,202 mm. Da diese Differenz jedenfalls ziemlich grösser ist, als der Fehler der kathetometrischen Messung, so wurden die Beobachtungen für Barometerstände diesseits und jenseits der Mittellinie noch getrennt einer entsprechenden Berechnung unterworfen. Man erhielt indessen sehr nahe dieselben Werthe für x und y und nach der Rückwärtsberechnung auch sehr nahe gleich grosse Differenzen zwischen den berechneten und beobachteten Barometerständen. Es scheint daher wohl in Folge des erwähnten störenden Einflusses der Capillarität überhaupt 0,2 mm die Genauigkeitsgrenze der Angaben unsers Wagbarometers zu sein und innerhalb dieser Grenze sind also auch die Ausschläge des Zeigers den Aenderungen des Barometerstandes proportional. Aus den Aufzeichnungen des Instrumentes ist somit der auf 0° reducirte Barometerstand h in Millimetern nach der Formel:

Digitized by Google

$$h = 712{,}43 \pm 0{,}43556 \cdot b .$$

zu berechnen, wo $\pm b$ die in Millimetern ausgedrückten Entfernungen der betreffenden Markirpunkte nach links oder rechts von der Mittellinie aus darstellt. Der einem Millimeter Aenderung des Barometerstandes entsprechende Ausschlag der Zeigerspitze ist sonach: 2,296 mm. Da nun der Papierstreifen wieder 100 mm breit ist, so entspricht diese Breite einer möglichen Variation des Barometerstandes von 44 mm, eine Zahl, die nur in sehr extremen Fällen überschritten wird. Auch hier liess man endlich zur unmittelbaren raschen Ablesung der Barometerstände aus den Aufzeichnungen eine Scale auf Hornpapier anfertigen, bei welcher die einzelnen Theilstriche um 2,296 mm von einander entfernt und der der Mittellinie entsprechende Stand 712,43 mm durch eine besondere Linie markirt war. Da nach den vorliegenden Beobachtungen der mittlere Barometerstand in Bern 712,36 mm ist, so entspricht also der der Mittellinie entsprechende Barometerstand demselben sehr nahe.

Im Laufe des März 1865, also anderthalb Jahre nach der ersten Bestimmung, sind in entsprechender Weise wieder eine Zahl von Fundamentalbeobachtungen angestellt worden, bei welchen der Barometerstand von 723 bis 702 mm variirte und die, ebenfalls nach der Methode der kleinsten Quadrate berechnet, für die beiden Constanten die Werthe:

$$x = 712{,}62 \text{ mm} \text{ und } y = 0{,}41439$$

ergaben. Der einem Millimeter Aenderung des Barometerstandes entsprechende Ausschlag der Zeigerspitze war also zu dieser Zeit: 2,414 mm, also um 0,118 mm grösser als früher, und der der Mittellinie zukommende Stand hätte sich hienach in anderthalb Jahren um 0,19 mm vergrössert. Diese beiderlei Veränderungen lassen sich gleichzeitig dadurch erklären, dass man ein langsames Verdampfen des Quecksilbers im offenen Gefäss unten und insbesondere ein Senken des Trägers dieses mehrere Kilogramm schweren Gefässes annimmt. Durch eine solide metallische Verbindung des Gefässträgers mit der Grundplatte des Registrirapparats und dem Träger des Wagbalkens könnte dem letztern vorgebeugt werden. Es sind freilich noch zwei andere Ursachen einer solchen Verschiebung auf den ersten Anblick gedenkbar, nämlich ein Eindringen von Luft in's Vacuum des Barometers und eine Veränderung der Entfernung des Wagbalkenträgers und des Trägers des fixen Quecksilbergefässes unten durch Wärmeausdehnung. Eine nähere Betrachtung zeigt indessen sofort, dass diese beiden Umstände in unserm Falle keinen störenden Einfluss haben können. Wenn nämlich auch Luft in's Vacuum

Digitized by Google

eingedrungen wäre und in Folge dessen das Quecksilber in der Röhre tiefer stände, als unter normalen Umständen, so wird ja auch, da die Messungen mit dem Kathetometer an dieser Quecksilbersäule erfolgen, das Resultat der letztern um dieselbe Grösse geringer ausfallen, also bei der Vergleichung von Zeigerstand und Barometerhöhe keine Differenz daraus entstehen. Wohl aber wären dann die so erhaltenen Fundamentalbestimmungen um einen gewissen Betrag zu klein und es erschien daher wünschenswerth, sich auf anderem Wege von der Grösse desselben einen Begriff zu verschaffen. Dies geschah dadurch, dass man von Zeit zu Zeit an einem in Betreff Weite und Gestalt der Röhre und des Gefässes genau gleich beschaffenen Barometer des physikalischen Kabinets vermittelst des erwähnten Kathetometers nach der Arago'schen Methode Messungen über ein allfälliges Eindringen von Luft in's Vacuum anstellte und dann mit Hülfe eines Reisebarometers das erstere mit diesem verglich. Diese Untersuchungen ergaben allerdings bei beiden Instrumenten ein solch' allmäliges Eintreten von Luft; während aber die im Laufe von 3 Jahren eingedrungene Quantität Luft bei demjenigen des physikalischen Kabinets so gering war, dass sie bei mittlerem Barometerstand den letztern blos um 0,05^{mm} verringerte, erreichte dieser störende Einfluss bei dem Registrirbarometer während dieser Zeit den Werth von 0,56^{mm}. Die hieraus entspringenden Correctionen sind nachträglich bei den Verarbeitungen der Registrirungen angebracht worden. Was den zweiten Umstand betrifft, so besteht die starre Verbindung zwischen den Trägern des Wagbalkens und Quecksilbergefässes zum Theil aus Holz, zum Theil aus Eisen. Hätte sie ganz aus dem letztern, viel stärker als das Holz sich ausdehnenden Metalle bestanden, so müsste in unserm Falle, wo diese Entfernung etwa 1 Meter beträgt, die mittlere Temperatur bei den Fundamentalbestimmungen um etwa 16° verschieden gewesen sein, damit daraus eine Veränderung des Werths der Mittellinie im Betrag von 0,2^{mm} hätte resultiren können. In Wirklichkeit betrug diese Temperaturdifferenz indessen blos etwa 1°. Steht das Barometer wie in unserm Falle in einem im Winter geheizten Zimmer, in welchem die Temperaturschwankungen im Lauf des Jahres 16° durchschnittlich nicht übersteigen, so kann der aus dem eben erörterten Umstande für die Aufzeichnungen überhaupt entspringende Fehler selbst bei metallischer Verbindung des Wagbalken- und Gefäss-Trägers die oben angegebene Genauigkeitsgrenze der Angaben unsers Wagbarometers noch

Digitized by Google

nicht übersteigen. Wäre dagegen das Instrument im Freien aufgestellt, so dass die Temperatur um $40 - 50^0$ im Laufe des Jahres variirt, so würde eine in geringerem Maasse sich ausdehnende Holzverbindung, wie sie bei unserm Instrumente besteht, zweckmässiger sein.

4. Der Windrichtungsmesser.

Bei der Construction des zur Registrirung der Windrichtung dienenden Apparats stellte man sich die Aufgabe, die Windrichtung in ähnlicher Weise aufgezeichnet zu erhalten, wie man sie häufig graphisch darstellt, nämlich so, dass die acht Hauptwinde durch Punkte angegeben werden, welche in der einen oder anderen von acht nebeneinanderstehenden Columnen markirt werden, während den aufeinanderfolgenden Punkten in derselben Columne die verschiedenen Zeiten entsprechen. Dieser Anforderung ist in befriedigender Weise durch die Einrichtung des Apparats genügt worden, wie sie aus Tafel XXIV Fig. 1 (Seitenansicht) und Fig. 2 (Grundriss) zu ersehen ist.

A ist die Stange der Windfahne, welche sich an ihrem oberen Ende konisch zu einer etwas dickern erweitert. Die letztere trägt einerseits die aus zwei unter 20^0 gegeneinander geneigten Eisenblechen bestehende Fahne, anderseits zur Aequilibirung einen Stab mit Bleigewicht. Mit der konischen Erweiterung ruht die Fahne in dem konischen Lager einer die Stange *A* umgebenden Röhre, die ihrerseits vom Gehäuse des Instrumentes getragen wird. Zum Schutz dieses Lagers gegen atmosphärische Einflüsse ist oberhalb desselben an der Stange wasserdicht ein Trichter befestigt, dessen Erweiterung nach unten gekehrt und mit einem cylindrischen Ansatz versehen ist, welcher ohne Berührung die Röhre eine Strecke weit umhüllt. Diese Theile sind aus der perspectivischen Zeichnung des Universalapparates Tafel XXVIII zu ersehen.

Am unteren Ende läuft die Fahnenstange *A* in eine Stahlspitze aus, womit sie in der konischen Vertiefung der Stahlschraube *B* ruht. Diese Schraube wird von einem an der Seitenwand *H'* des Registrir-Apparats festgeschraubten Bügel *D* getragen und lässt sich durch die Klemmmutter *C* feststellen. Es geschieht dies, nachdem man durch Aufwärtsschrauben von *B* die Stange soweit gehoben hat, dass sie in dem konischen Lager am oberen Ende nur leise aufliegt und so die Reibung bedeutend vermindert wird.

Das konische gezahnte Rad *E* in der Nähe des unteren Endes der Stange *A* setzt die Drehung der letzteren um eine vertikale Axe

Digitized by Google

vermittelst des Zahnrades F in eine entsprechende der Welle G um eine horizontale Axe um. Zur Registrirung des Standes der Windfahne sind an dieser Welle acht Stahlwulste in einer Spirale aequidistant so angeordnet, dass die letztere gerade einen Umgang macht resp. die Distanz zweier benachbarter Wulste $^1/_8$ der Peripherie beträgt. Hinter dieser Welle befinden sich acht vertikale, den Wulsten entsprechende Stahlfedern, welche oben an dem Träger K festgeschraubt und unten der Reihe nach mit den Buchstaben N, NO, O etc. bezeichnet sind. Jede Feder trägt an ihrem untern Ende eine ganz wie beim Barometer befestigte, nach hinten gerichtete Stahlspitze c und steht der Welle so nahe, dass sie durch den ihr entsprechenden Wulst zurückgedrückt wird, falls derselbe bei der Drehung der Welle gerade nach hinten zu stehen kommt. Durch diese Rückwärtsbewegung der Feder wird aber ihre Spitze in den dahinter befindlichen Papierstreifen l eingestochen. Man verstellt nun die Windfahne durch Auslösung des Eingriffes der konischen Räder E und F so lange, bis sie genau nach Norden weist, wenn der äusserste Wulst links gerade nach hinten gerichtet ist, resp. die mit N bezeichnete Feder allein zurückgedrückt wird, also auch ihre Spitze allein auf dem Papier eine Marke macht. Es ist dann unmittelbar klar, dass so oft irgend ein anderer der acht Hauptwinde weht, die mit dem betreffenden Buchstaben bezeichnete Feder allein eine Marke macht, wie es oben verlangt wurde. Aber auch noch die Zwischenwinde können erkannt werden, indem die Wulste so breit sind, dass z. B. bei einem zwischen N und NO gelegenen Winde die beiden betreffenden Federn zugleich markiren. Es wird also bei diesem Instrumente die Windrichtung, wie man sieht, continuirlich aufgezeichnet; doch kann man aus dieser Markirung nur auf die mittlere Windrichtung während der Zeit schliessen, innerhalb welcher das Papier nicht von seiner Stelle gerückt ist.

Zur Fortschiebung des Papiers, das sich von der Rolle $m\,n\,o$ abwickelt, dienen ganz dieselben Vorrichtungen wie bei den vorigen Apparaten, nur wird dieselbe, wie aus der Fig. 1 ersichtlich ist, beim Anziehen des Ankers durch den Electromagneten bewerkstelligt. Da die Markirung hier durch die Windfahne selbst mechanisch bewerkstelligt wird, so wäre diese Verschiebung des Papiers das einzige Geschäft des Ankerhebels beim vorliegenden Instrumente, wenn nicht eben desshalb immer wenigstens eine Spitze im Papier stäcke und so die Fortbewegung desselben hemmen würde. Es ist daher auch hier

Digitized by Google

am Ende des Ankerhebels durch das Winkelstück *ee* ein Querarm *dd* an demselben befestigt, der indessen nicht gabelförmig ist, sondern nur eine hinter den äussersten Enden der Federn herübergehende Lamelle besitzt. Diese Lamelle hindert bei der Ruhelage des Ankerhebels die Beweglichkeit und das Zurückweichen der Federn in keiner Weise; wird aber der Ankerhebel durch den Electromagneten oben zurückgezogen, so zieht sein unteres Ende bei seiner Vorwärtsbewegung durch die Lamelle sämmtliche Federn nach vorn und macht so auch die Spitze derjenigen frei, welche durch ihren Wulst nach hinten gebogen ist.

Die in der Zeichnung fortgelassene metallische Grundplatte *J* dieses Instruments ist analog wie diejenige beim Barometer an der eichenen Rückwand eines Glasgehäuses mit Thüre festgeschraubt, durch dessen Deckel die Stange *A* frei hindurchgeht. Dieses Gehäuse ist zusammen mit dem ganz entsprechenden des folgenden Instruments zum Schutz gegen Regen und Schnee in eine Art Holzschrank untergebracht, der auf der südlichen Ecke der schon oben erwähnten Terrasse des Anbaus an die Sternwarte aufgestellt ist und dessen Dach denn auch die den oberen Theil der Fahnenstange umschliessende Röhre trägt.

5. Der Windstärkemesser.

Unserm Anemometer ist das von Dr. Robinson[1]) angegebene Princip zu Grunde gelegt, wonach ein Flügelrad mit einer der Windgeschwindigkeit proportionalen Geschwindigkeit stets im gleichen Sinne gedreht wird, der Wind mag kommen, woher er will. Man stellte sich dabei die Aufgabe, die Zu- und Abnahme der Windgeschwindigkeit in ähnlicher Weise wie die Zu- und Abnahme der Temperatur und des Barometerstandes durch eine Curve darzustellen, deren Abscissen den Zeiten und deren Ordinaten den Windgeschwindigkeiten d. h. den in gleichen Zeitintervallen z. B. je in 10 Minuten vom Winde zurückgelegten Wegen entsprechen. Unter Anwendung der Robinson'schen Vorrichtung hatte man also zu dem Ende nur die Zahl der Umdrehungen des Flügelrades in solchen aufeinanderfolgenden gleichen Zeitintervallen zu registriren. Nach diesen Ideen ist das in Fig. 1 (Seitenansicht) und Fig. 2 (Grundriss) der Tafel XXV seinen Haupttheilen nach dargestellte Instrument construirt worden.

1) Proceeding of the Royal Irish Academy, Vol. IV. p. 566.

Digitized by Google

Am oberen Ende einer vertikalen Stange *A* ist ein horizontales Kreuz mit etwa 8 Centimeter langen Armen angebracht, welche aussen halbkugelförmige Schalen von etwa 8 cm Durchmesser tragen. Die Oeffnungen der letzteren stehen vertikal und sind alle nach derselben Seite gerichtet, wie dies aus der perspectivischen Zeichnung auf Tafel XXVIII deutlich zu ersehen ist. Da der Wind auf die concave Seite einer solchen Schale stets einen grösseren Druck ausübt als auf die convexe, so wird mit dem Unterschied dieser Drucke die ganze Vorrichtung um die vertikale Axe gedreht und zwar, wie leicht ersichtlich, stets nach derselben Seite, woher auch der Wind weht. Damit nun dieser Drehung möglichst geringe Reibungshindernisse entgegengesetzt werden, besitzt die Axe *A* eine ganz entsprechende Aufstellung wie die Windfahnenstange, nämlich oben ein konisches Lager in der umgebenden Röhre und unten eine auf der Schraube *B* aufruhende Spitze. Letztere wird entsprechend durch einen Bügel *D* getragen und mit der Klemmmutter *C* festgestellt. Durch eine Schraube ohne Ende *E*, die in ein gezahntes Rad *F* eingreift, wird die Drehung des Flügelrades um die vertikale Axe *A* in eine solche um eine horizontale Axe *G* von geringerer Geschwindigkeit umgesetzt. Die Axe wird aussen durch einen Bügel *I* gehalten, auf der andern Seite geht sie durch eine Oeffnung in der einen Seitenplatte *H'* (Tafel XXII) des Registrirapparats hindurch und wird an ihrem innern Ende von der zweiten Seitenplatte *H* gestützt. (In der Zeichnung sind diese Platten fortgelassen, doch ist ihre Stellung aus der Tafel III zu ersehen.) In ein Getriebe der Axe *G* greifen die Zähne eines zweiten, ebenfalls von den beiden Platten *H* und *H'* getragenen Zahnrades *F'* ein und endlich in ein Getriebe auf der Axe des letztern ein drittes Zahnrad *F''*. Die Axe II dieses letzen Rades ruht mit einer Spitze in einer konischen Vertiefung der Platte *H*, geht auf der rechten Seite durch eine Oeffnung in der Platte *H'* heraus und wird etwas ausserhalb derselben durch ein Lager auf dem Metallarme 7 gehalten. Am Ende der Axe sitzt ein konisches gezahntes Rad *K*, das in ein zweites auf der Axe III befestigtes eingreift und somit die Drehung um die erstere in eine solche um die letztere umsetzt. Diese neue Axe, die von den Trägern IV und IV' gestützt wird, ist an ihrem einen Ende mit einer starken, durch die Schraube *v* festzuklemmenden Feder *t* versehen, die gegen den Stift *u* anstösst und die Weiterdrehung nach dieser Seite hemmt; am andern Ende sind zwei Rollen V und VI auf derselben befestigt, von welchen die eine die Darm-

Digitized by Google

saite 5 mit dem Gewichte VII trägt, während in der Rinne der andern das eine Ende eines Stahlbandes 6 fixirt ist, dessen anderes Ende in dem auf dem Stahlcylinder 2 verschiebbaren Schlitten 1 festgeklemmt ist. Der Schlitten 1 trägt an seinem Fortsatz nach unten eine nach hinten gerichtete drehbare und verstellbare Stahlspitze *c* und wird vermittelst der über die Rolle 4 gehenden Darmsaite 3 durch das Gewicht VIII stets nach links gezogen. *d d* stellt wieder die bei *e* am Ankerhebel festgemachte Gabel dar, zwischen deren Zinken der Fortsatz des Schlittens hingleitet. Am rechten Ende derselben ist hier der nach hinten gehende oben erwähnte Metallarm 7 festgeschraubt. Die weitern, in der Zeichnung grösstentheils fortgelassenen Theile des Apparats zur Registrirung des Standes der Zeigerspitze *c* auf dem unterliegenden Papierstreifen *l* sind ganz dieselben wie bei den vorhergehenden Instrumenten.

Die Function des Apparates ist folgende. Die Drehung des Windflügels wird zunächst durch die Zahnräder umgesetzt und verlangsamt und schliesslich durch Aufwinden der Stahlfeder auf der Rolle VI in eine Verschiebung der Zeigerspitze am Schlitten 1 von links nach rechts umgesetzt. Wird nun der Strom der galvanischen Batterie geschlossen, so zieht der Ankerhebel die Gabel *d* zurück und sticht die Zeigerspitze in das Papier ein, zugleich wird aber auch der an ihr befestigte Arm 7 zurückgestossen, damit das betreffende Ende der Axe II nach hinten bewegt und so der Eingriff der konischen Räder *K* und *K'* ausgelöst. Nunmehr wäre das Gewicht VIII hinlänglich kräftig durch Rückwärtsdrehung der Axe III allein den Schlitten 1 zum Ausgangspunkte nach links zurückzuführen, wenn nicht die Spitze zur Zeit noch im Papier stäcke und so die Bewegung hemmte. Statt dessen wird nun das kleinere Gewicht VII (die verhältnissmässige Grösse der Gewichte VII und VIII ist in der Figur verkehrt angegeben) wirksam, dreht die Axe III im gleichen Sinne zurück und spannt damit das Stahlband los, bis die Feder *t* an den Stift *u* anschlägt. Wenn dann nachher der Strom wieder geöffnet wird und die Gabel bei ihrer Rückwärtsbewegung die Spitze aus dem Papier herauszieht, so kann jetzt diese durch das Gewicht VIII ungehindert zum Ausgangspunkt zurückgezogen werden, obschon zugleich der Eingriff der konischen Räder wiederhergestellt worden ist. Das Stahlband ist nämlich bereits abgewickelt worden und wird nunmehr durch das Zurückgehen des Schlittens wieder angespannt. Der Ausgangspunkt

Digitized by Google

für die Spitze ist demnach diejenige Stellung derselben, welche sie bei gespanntem Stahlbande einnimmt, wenn die Feder *t* an der Axe III auf den Anschlag *u* stösst. Die Uebersetzung der gezähnten Räder ist der Art, dass 30 Umdrehungen des Flügelrades eine seitliche Verschiebung der Spitze um 1^{mm} entspricht. Da nun wie bei den vorigen Instrumenten nach jeder Registrirung des Zeigerstandes das Papier auch um etwa einen Millimeter weiter geschoben wird, so können wir also in der That aus den aufeinanderfolgenden Markirpunkten durch Ausmessung der ihnen entsprechenden Zeigerverschiebungen nach Millimetern zunächst die Zahl der Umdrehungen des Windflügels in dem Zeitintervall von je einer Registrirung zur nächst folgenden finden. Um daraus aber weiterhin den vom Winde in dem betreffenden Zeitintervall zurückgelegten Weg ableiten zu können, muss man noch wissen, welcher Windgeschwindigkeit eine Umdrehung des Flügelrades in einer Secunde entspreche. Nach den Beobachtungen und Berechnungen von Dr. Robinson selbst sollen sich bei seinem Instrumente ganz allgemein die Schalenmitten mit $^1/_3$ der Geschwindigkeit des Windes bewegen. Nun ist bei unserm Apparate der Durchmesser des Kreises, den die Schalenmitten beschreiben, $0^m,25$, somit die zugehörige Kreisperipherie: $0^m,785$ und es entspräche also hiernach eine Umdrehung des Flügelrades einem in derselben Zeit durch den Wind zurückgelegten Weg von $2^m,36$. Da aber 30 Umdrehungen des Flügelrades eine Verschiebung der Zeigerspitze um 1^{mm} bewirken, so würde demzufolge die letztere auch einem vom Winde in derselben Zeit zurückgelegten Wege von $70^m,8$ entsprechen. Um dieses Resultat einigermaassen zu controliren, wurden noch bei mässig starkem Winde die Angaben eines dem physikalischen Kabinet angehörigen Woltmann'schen Flügels mit denen unsers Registrirapparates verglichen. Hiebei ergab sich, dass im Mittel mehrerer Versuchsreihen einer Verschiebung der Zeigerspitze um 10^{mm} am Registrirapparate 3153 Umdrehungen des Windflügels beim Woltmann'schen Instrumente entsprachen. Nach den Versuchen von Combes[1]) kann man aber beim letztern die Windgeschwindigkeit angenähert gleich der Hälfte der Geschwindigkeit der Flügelmitten setzen und da nun die Peripherie des von den Flügelmitten beschriebenen Kreises in unserm Falle $0^m,4712$ betrug, so entspricht hiernach einer Umdrehung des Windflügels beim vorliegenden

1) Annales des Mines, 3. série, t. 13, p. 103.

Digitized by Google

Woltmann'schen Instrumente ein in derselben Zeit vom Winde zurückgelegter Weg von $0^m,2356$. Der obigen Vergleichung zufolge würde daher eine Verschiebung der Zeigerspitze des Registirapparates um 1^{mm} einen in derselben Zeit vom Winde zurückgelegten Weg von $74^m,3$ anzeigen. Dieses Resultat weicht so wenig von dem obigen ab, dass das Mittel aus beiden sich wohl wenig von der Wahrheit entfernen wird; es wurde demnach angenommen, dass bei unserm Registrir-Apparate eine Verschiebung der Spitze um 1 Millimeter einen in derselben Zeit vom Winde zurückgelegten Weg von 72,51 Meter anzeige. Zur unmittelbaren bequemen Ablesung der Windgeschwindigkeit aus den Aufzeichnungen liessen wir wieder eine Scale auf Hornpapier anfertigen, deren Theilstriche um $1^{mm},38$ von einander abstanden, so dass einem solchen Theile ein vom Winde zurückgelegter Weg von 1 Hectometer entspricht. Die Windgeschwindigkeit kann somit nach Hectometern direct abgelesen und nach Decametern noch gut geschätzt werden. Die Verschiebungsgrenzen des Schlittens sind um eine kleine Grösse weniger von einander entfernt, als die Breite des Papiers (100^{mm}) beträgt. Die Maximalverschiebnng des Schlittens entspricht daher 7 Kilometer Windgeschwindigkeit, welche Grenze bis dahin in dem Zeitintervall von 10 Minuten von einer Registrirung zur andern noch nie bei unserm Instrumente überschritten worden ist.

6. Der Regenmesser.

Die Erfahrungen an dem ältern selbstregistrirenden Wind- und Regenmesser hatten, wie bei den vorigen Instrumenten, zur Aufstellung ganz bestimmter Anforderungen an ein neu zu construirendes Pluviometer geführt. Es sollte dasselbe analog wie der Windstärkemesser die Zu- und Abnahme der Niederschlagsmenge durch eine aus Punkten zusammengesetzte Curve anzeigen, deren Abscissen wieder den Zeiten und deren Ordinaten den in gleichen Zeitintervallen z. B. je in 10 Minuten gefallenen Regenmengen entsprechen. Zu dem Ende wurde zur Messung des Regens ein Princip verwendet, das meines Wissens bis dahin noch nicht bei selbstregistrirenden Apparaten zur Anwendung gekommen ist; man liess nämlich das Wasser aus dem Auffangegefäss auf ein oberschlächtiges, mit Zellen versehenes Wasserrädchen auslaufen, nachdem man durch Versuche ermittelt hatte, dass hiebei die Zahl der Umdrehungen desselben innerhalb hinlänglich weiter Grenzen der zugeflossenen Wassermenge proportional sei.

Digitized by Google

Der durch Fig. 1 (Seitenansicht) und Fig. 2 (Grundriss) Tafel XXVI in seinen Haupttheilen dargestellte Regenmesser unterscheidet sich nur in zwei Punkten vom vorigen Instrumente. An der Stelle des Zahnrades F, das beim Windstärkemesser in die Schraube ohne Ende der Stange A eingreift, ist hier auf die Axe G ein Wasserrädchen BC mit 16 Zellen aufgesetzt, deren Scheidewände in der Mitte, wie Fig. 2 zeigt, etwas niedriger sind, als am Rande. Den Zellen auf der hinteren Seite wird das Niederschlagswasser durch die gläserne Ausflussspitze A zugeführt und sowie zwei derselben gefüllt sind, setzt sich das Rädchen in der Richtung des Pfeils in Bewegung und macht ungefähr eine halbe Umdrehung, wobei es die Zellen in das, den untern Theil umschliessende Gefäss D entleert. Im Uebrigen werden dann ganz wie beim vorigen Instrumente die Umdrehungen des Rädchens in eine ihrer Zahl proportionale Verschiebung des Schlittens 1 resp. der Zeigerspitze c umgesetzt und nach jeder Registrirung des Standes der letztern auf dem Papierstreifen l wird wie dort der Schlitten zum Ausgangspunkt zurückgeführt. Der zweite Unterschied dieses Instrumentes gegenüber dem vorigen besteht sodann darin, dass auf der Axe G noch ein Zahnrad F ausser dem Wasserrädchen aufgesetzt ist, in welches ein in der Zeichnung fortgelassener, am Anker eines zweiten Electromagneten befestigter Hacken so lange eingreift, als der erstere von den Polen des Magneten angezogen wird. Da dieser Electromagnet in denselben Schliessungskreis eingeschaltet ist, wie der die Registrirung bewirkende, so dauert also die Hemmung jeder Bewegung des Wasserrädchens durch den Hacken nur so lange oder in Wirklichkeit ganz wenig länger, als das Niederdrücken der Gabel d durch den ersten Electromagnet. Es hat diese Vorrichtung zum Zwecke keine Bewegung des Wasserrädchens unregistrirt vorübergehen zu lassen, was ohne dieselbe leicht geschehen könnte. Wenn nämlich das Wasserrädchen durch Füllung der Zellen im Momente der Registrirung sehr nahe daran ist, in Bewegung zu gerathen, so erfolgt diese ohne den hemmenden Hacken nun wirklich während der Registrirung, indem die dabei stattfindende Erschütterung, sowie die Auslösung der konischen Räder K und K' die Wirkung der Reibungshindernisse auf die Bewegung des Rädchens vermindern. Eine solche Drehung des letztern während der Registrirung geht aber eben wegen der Auslösung der konischen Räder zu dieser Zeit unregistrirt vorüber.

Das Auffanggefäss für diesen Regenmesser ist von Zink und hat

Digitized by Google

einen kreisförmigen Querschnitt und zwar ist der oberste Theil desselben so weit, dass die Auffangsfläche 2665,84 Quadratcentimeter beträgt. Etwas unterhalb des Randes verengert sich dasselbe konisch und geht dann weiter unten in ein etwas engeres Kupfergefäss mit konischem Boden über. Von einer Ansatzröhre in der Mitte des letztern führt ein Bleirohr das Wasser zur Ausflussspitze *A* des Registrirapparats.

Der beschriebene Registrirapparat ist wieder an der eichenen Rückwand eines Glasgehäuses mit Thüre befestigt und das letztere in einem Glasschrank des Anbaus an die Sternwarte aufgestellt. Das Auffanggefäss aber wurde in den Boden der Terrasse dieses Anbaus so eingelassen, dass sein oberer Rand die letztere um 1,2^{m} überragt und sein Boden in das Niveau der Zimmerdecke fällt. Im Winter wird daher durch die Wärme des geheizten Zimmers der aufgefangene Schnee gleich vorweg geschmolzen, so dass es nur bei starkem Schneefall nothwendig wird, zu dem Ende eine unter dem Boden befindliche Gaslampe anzuzünden.

Der Werth der Verschiebungen der Zeigerspitze in Millimetern gefallenen Regens wurde in der Art empirisch bestimmt, dass man der Reihe nach 100, 200 etc. bis 1000 Cubikcentimeter Wasser oben in das Auffanggefäss schüttete und jedesmal nach Abfluss des Wassers die Zeigerspitze am Apparat ihren Stand markiren liess. Für 500 und 1000 Cubikcentimeter wurden je 4 Versuche angestellt und dabei das Wasser das eine Mal langsamer, das andere Mal schneller eingeschüttet. Diese Messungen bestätigen das schon aus den Vorversuchen abgeleitete, sehr günstige Resultat, dass innerhalb der vorstehenden Grenzen, die in Wirklichkeit wenigstens nach oben hin kaum überschritten werden, die Verschiebung der Zeigerspitze auch bei verschiedener Zuflussgeschwindigkeit der Menge des eingeschütteten Wassers proportional zu setzen sei und zwar so, dass im Mittel 100 Cubikcentimetern aufgefangenen Wassers eine Verschiebung der Zeigerspitze um 7,53 ^{mm} zukomme. Mit Berücksichtigung der oben angegebenen Auffangsfläche berechnet sich hieraus, dass bei unserm selbstregistrirenden Regenmesser einer Verschiebung der Zeigerspitze um je 1 Millimeter eine gefallene Regenmenge von 0,0498 oder in runder Zahl von 0^{mm},05 Höhe entspricht, also eine Verschiebung des Zeigers um die ganze Papierbreite (100^{mm}) 5^{mm} Regenhöhe anzeigen würde. [1]) Mit einem

1) Diese Regenhöhe von 5^{mm} ist in dem Zeitintervall von 10 Minuten bis dahin ein einziges Mal, nämlich bei einem sehr heftigen Platzregen, überschritten worden.

Digitized by Google

eingetheilten Hornblatte, wo die Striche um 2 mm von einander abstehen, kann man also unmittelbar die Regenhöhe während des Zeitintervalls zwischen zwei Schliessungen des Stromes aus der Markirung des Zeigerstandes auf dem Papierstreifen bis zu 0mm,1 ablesen und noch leicht 0,mm01 schätzen. Die ganze Summe des gefallenen Regens wird übrigens, wie zu erwarten war, durch diesen Regenmesser etwas zu gering angegeben. Wenn nämlich nur ein ganz schwacher und kurzdauernder Regen stattfindet, der etwa blos eine Zelle des Wasserrädchens zu füllen vermag und dann dieses Wasser bis zum nächsten Regen wieder verdunstet hat, so wird diese Wassermenge gar nicht registrirt worden sein. Um also die wahre Regenmenge während grösserer Zeitintervalle zu erhalten, ist es immerhin nothwendig, neben diesem Apparate noch von Zeit zu Zeit Beobachtungen an einem gewöhnlichen Regenmesser anzustellen.

7. Der Feuchtigkeitsmesser.

Unter den verschiedenen Hygrometern sind meines Wissens bis dahin allein das Haarhygrometer und das August'sche Psychrometer zu selbstregistrirenden Instrumenten eingerichtet worden. Das letztere hat gegenüber dem ertern den allgemein anerkannten Vorzug grösserer Zuverlässigkeit; es hätte auch unter Zuziehung des ältern Registrir-Thermometers nicht schwer gehalten, in Verbindung mit dem neuen, oben beschriebenen ein Registrir-Psychrometer zu construiren oder auch einen besonderen Apparat anzufertigen, bei welchem zwei Zeiger nebeneinander, der eine die Temperatur des trockenen, der andere diejenige des feuchten Thermometers respective also die Temperatur-Differenz beider registriren würde. Die Aussicht indessen, aus den 144 Psychrometer-Beobachtungen eines Tages oder auch nur aus den 24 stündlichen Aufzeichnungen je die absolute und relative Feuchtigkeit berechnen zu müssen, hat uns vor der Hand nicht an die Verwirklichung dieser Idee denken lassen. Wir entschlossen uns daher um so eher dazu, einen Versuch mit dem Saussure'schen Haarhygrometer zu machen, als dasselbe neuerdings wieder von Kämtz empfohlen worden ist und wir selbst durch Vergleichung der Angaben eines vorzüglichen Instrumentes der Art, das aus der mechanischen Werkstätte von E. Schwerd in Genf hervorgegangen ist, mit einem Psychrometer gefunden hatten, dass dasselbe eine sehr befriedigende Genauigkeit und grosse Bequemlichkeit darbieten könne. Dieses Haarhygrometer von Schwerd

Digitized by Google

hat nämlich zwei Scalen, eine solche nach Saussure mit 100 gleichen Theilen vom Punkt vollständiger Trockenheit bis zum Punkt vollkommener Sättigung und eine zweite mit ungleichen Intervallen, die unmittelbar die relative Feuchtigkeit angeben soll. Die während längerer Zeit auf der Sternwarte beobachteten Angaben dieses Instruments und die aus den gleichzeitigen Ablesungen am Psychrometer berechneten relativen Feuchtigkeiten zeigten in der That blos eine mittlere Abweichung von $\pm$ $2^1/_2$ Procent, welches Resultat um so befriedigender erscheint, als ein Theil der Differenzen wohl auch fehlerhaften oder verspäteten Angaben des Psychrometers zuzuschreiben ist. Wenn es also so möglich ist, ein Instrument zu construiren, das vermittelst einer, ein für alle Male anzufertigenden besondern Scale die relative Feuchtigkeit unmittelbar ablesen lässt, so bleibt dann blos noch die sehr einfache Berechnung der absoluten Feuchtigkeit aus der vorigen und der Lufttemperatur übrig, welche durch eine Tafel mit doppeltem Eingang auf ein Minimum von jedesmaliger Arbeit reducirt werden kann.

Unser selbstregistrirendes Haarhygrometer ist in Fig. 1 (Grundriss) und Fig. 2 (Seitenansicht) der Tafel XXVII dargestellt. Es besteht aus einer Messingplatte *A*, die vermittelst der Schrauben *u u'* auf einer in der Zeichnung fortgelassenen Querschiene aufgeschraubt ist und so von den Seitenplatten *H* und *H'* des Registrirapparates getragen wird. Diese Platte läuft oben in eine schmälere Zunge aus und trägt an ihrem oberen Ende den drehbaren und durch eine Mutter festzustellenden Zapfen *B*, an welchem das eine Ende des entfetteten Frauenhaars *C* befestigt ist. Das andere Ende des letzteren ist um die eine Rinne der Rolle *D* gewunden und in derselben festgemacht; in der andern Rinne liegt ein zweites, das Gewichtchen *G* tragendes Haar, wodurch das erstere gespannt wird. Die Rolle *D* dreht sich nicht um Zapfen, sondern um die scharfe Kante einer Stahlschneide *E*, die auf Stahllagern des an der Platte *A* angeschraubten Bügels *F* ruht. Endlich ist an der Rolle der Zeiger *K* befestigt, der an seinem untern Ende wieder eine nach hinten gehende Stahlspitze *c* besitzt und die Markirung des Standes der letztern auf dem Papierstreifen *l* erfolgt in ganz gleicher Weise wie beim Barometer, wesshalb auch die hiezu dienenden Theile des Apparates bis auf die Gabel *d* in der Zeichnung ganz weggelassen sind.

Dieser Apparat ist an der Rückwand eines Holzkastens mit Thüre auf einem Schlitten befestigt und kann so nach Belieben ganz in den

Digitized by Google

Kasten heruntergelassen oder auch so weit gehoben werden, dass der oberste Theil mit dem Haare bis zur Axe der Rolle durch eine Oeffnung im Deckel des Kastens hindurch in ein über die letztere gesetztes Blechgehäuse hineinragt. Die letztere Stellung ist diejenige für die Beobachtungen und damit dabei die äussere Luft frei um das Haar circuliren könne, ohne dass Gefahr für das Eindringen von Regen und Schnee entsteht, hat der Boden des Holzkastens eine Reihe von Löchern und ebenso besitzt das Blechgehäuse viele Oeffnungen, indem es aus schuppenartig übereinandergreifenden Ringen zusammengesetzt ist.

Die Scale dieses Instruments wird durch Vergleichung mit den gleichzeitigen Angaben des oben erwähnten Saussuré'schen Haarhygrometers empirisch bestimmt und zwar so, dass man damit die relative Feuchtigkeit unmittelbar ablesen kann.

8. Der Bewölkungsmesser.

Die Bewölkung des Himmels liesse sich direct auf photographischem Wege registriren, da wir indessen, wie schon oben bemerkt, von der Anwendung der Photographie bei unsern Registrir-Apparaten von vorne herein abstrahirten, so wurde zu dem Ende folgende indirecte Methode gewählt. Auf demselben Pfahle, auf welchem das zur Bestimmung der Lufttemperatur dienende, beschattete Registrir-Thermometer aufgestellt ist, wurde das zweite ältere Registrir-Thermometer in der Weise angebracht, dass seine Spirale nach Süden gewendet und blos durch ein kleines Glasgehäuse gegen Regen und Schnee nicht aber gegen die Strahlung der Sonne und des kalten Weltraums geschützt ist. Wenn man die Angaben des letztern Thermometers mit denen des erstern vergleicht, so muss man offenbar gewisse Schlüsse auf die Bewölkung des Himmels und zwar nicht blos am Tage sondern auch zur Nachtzeit ziehen können. So oft nämlich am Tage die Sonne durch Wolken nicht behindert auf das freie Thermometer einwirken kann, wird dessen Temperatur sofort bedeutend über die des andern steigen, dagegen wieder in ihre Nähe zurückgeben, sowie die Sonne durch Wolken verdeckt wird. Mit Sonnenuntergang wird das Entgegengesetzte eintreten d. h. wegen unbehinderter (durch die Glasplatte freilich etwas geschwächten) Strahlung gegen den kalten Weltraum wird das freie Thermometer bei klarem Himmel eine niedrigere Temperatur anzeigen als das geschützte und zwar wird die Differenz um so grösser ausfallen je wolkenloser der Himmel ist. Es hat sich dies durch die Erfahrung

Digitized by Google

vollkommen bestätigt. Indem wir nämlich die Aufzeichnungen beider Thermometer vom 29. Sept. bis 18. October 1864 mit den directen Beobachtungen über die Bewölkung während dieser Zeit verglichen, fanden wir folgende Resultate:

Wenn der Himmel den ganzen Tag bewölkt blieb, so stieg die Temperatur des freien Thermometers um die Mittagszeit blos um $1^0,5$ bis $3^0,5$ über diejenige des beschatteten und war während der Nacht der letztern genau gleich. An ganz hellen und windstillen Tagen dagegen erhob sich die Temperatur des freien Thermometers mit Sonnenaufgang sehr rasch über die des beschatteten und war zur Mittagszeit regelmässig um $13-15^0$ höher als die des letztern; mit Sonnenuntergang aber sank sie sofort unter die des beschatteten, so dass die Differenz in der Nacht und am Morgen vor Sonnenaufgang wiederholt 2^0 betrug. Wehte dagegen bei hellem Himmel ein mässig starker Wind (während der ganzen Zeit war die Windrichtung eine nordöstliche), so betrug die Differenz beider Thermometer zur Mittagszeit blos $9-10^0$. An Tagen mit theilweiser und veränderlicher Bewölkung endlich war die Differenz zwischen den beiden Thermometerständen eine mittlere zwischen den angegebenen Grenzen und eine dem Grade der jeweiligen Bewölkung entsprechende. Wiederholt durchbrach z. B. erst Nachmittags um 2 Uhr die Sonne den Nebel, was stets durch eine sofortige Vermehrung der Temperaturdifferenz beider Thermometer um $3-4^0$ angezeigt wurde; ebenso liess sich das Aufsteigen des Nebels vor Mitternacht oder auch erst gegen Morgen dadurch erkennen, dass dann das freie Thermometer, während es vorher tiefer stand als das beschützte, jetzt entweder auf dieselbe Temperatur gelangte oder sogar für einige Zeit (wahrscheinlich in Folge der latenten Verdampfungswärme) eine etwas höhere annahm.

Weiter fortgesetzte Untersuchungen werden zeigen, in welcher Weise empirisch eine Scale zur genauern Bestimmung des Grades der Bewölkung aus den Aufzeichnungen beider Thermometer wird anzufertigen sein.

9. Galvanische Batterie.

Wenn, wie in unserm Falle, der electrische Strom einer galvanischen Batterie die zur Registrirung nothwendige mechanische Kraft darbieten soll, so ist vor Allem auch darauf zu sehen, dass diese galvanische Batterie längere Zeit vollkommen sicher wirke und dass die Erhaltung

Digitized by Google

derselben in brauchbarem Zustande nicht zu viel Mühe und Geschick beanspruche.

Wo es nun zur Hervorbringung irgend welcher Wirkungen nothwendig ist, eine galvanische Batterie längere Zeit geschlossen zu lassen, da können selbstverständlich nur constante galvanische Elemente, und wenn die letztern Wochen lang wirksam bleiben sollen, unter ihnen jedenfalls nur Daniell'sche Elemente gebraucht werden. Dagegen werden auch inconstante volta'sche Combinationen Verwendung finden können, wenn, wie im vorliegenden Fall, die Batterie nach kürzern oder längern Intervallen je nur eine oder zwei Secunden lang geschlossen wird. Die bei den letztern nach der Schliessung jeweilen auftretende, störende Polarisation kann sich nämlich immer wieder in der Zwischenzeit verlieren. Diesem gemäss nahmen wir von der Anwendung der kostspieligen und vielen Störungen unterworfenen Daniell'schen Elemente Umgang und wählten einfache Zink-Kohlen-Elemente mit einer Flüssigkeit. Indem wir dann auch die Grösse, Zusammensetzung und Aufstellung der letztern passend wählten, gelang es uns so, eine galvanische Batterie zu construiren, welche je ein halbes Jahr lang mit voller Sicherheit die Registrirungen bei sämmtlichen oben beschriebenen Instrumenten bewirkt und während dieser ganzen Zeit vollständig sich selbst überlassen werden kann. Diese Batterie besteht aus 12 grossen Zink-Kohlen-Elementen, welche mit einer Flüssigkeit, nämlich einer nahe concentrirten Lösung von gleichen Theilen Kochsalz und Alaun, in Wasser gefüllt und in einem verschliessbaren Schranke aufgestellt sind. Die Kohlen-Cylinder dieser Elemente haben eine Höhe von 40 Centimenter und einen innern Durchmesser von 10 Centimeter, und die im Innern angebrachten Zinkplatten sind an einer über den Rand des Kohlen-Cylinders gelegten, getheerten Holzplatte befestigt; zur Fortleitung des Stroms ist an die Zinkplatte ein Kupferdraht angeklemmt und um die Peripherie der Kohlen-Cylinder oben ein Kupferring mit Draht gelegt. Die Aufstellung in einem geschlossenen Schrank, der seinerseits im gewölbten Keller des Anbaues an die Sternwarte placirt ist, hat, da der Raum bald mit Wasserdampf gesättigt ist, einmal eine sehr geringe Verdunstung des Wassers und sodann auch die Vermeidung der störenden Efflorescenz des Salzes zur Folge.

Ist die Batterie ein halbes Jahr lang in Function gewesen, so werden 12 Reserve-Elemente im gleichen Schranke in Stand gesetzt,

Digitized by Google

die Poldrähte mit dieser Batterie verbunden, sodann die gebrauchte auseinander genommen und gereinigt. Zu dem Ende legt man die Kohlen-Cylinder 8—14 Tage in fliessendes Wasser, befreit die Kupferringe von Oxyd, schabt die Zinkplatten ab und amalgamirt dieselben wieder. Nach Füllung der Gläser mit frischer Salzlösung können dann diese Elemente ohne Weiteres wieder gebraucht werden.

Dieselben 24 Elemente haben nun nahezu drei Jahre in dieser Art abwechselungsweise gedient und können jedenfalls noch ebenso lange gebraucht werden, ehe die Zinkplatten durch neue ersetzt werden müssen. Der Verbrauch ist also ein sehr geringer. Während dieser 3 Jahre ist meines Wissens von der Batterie her auch nur ein einziges Mal eine kurze Störung in der Registrirung erfolgt, als nämlich ihre Wirkung durch gleichzeitigen starken Gebrauch für einen andern Zweck — Registrirung der Sterndurchgänge beim Meridiankreis der Sternwarte — allzusehr abgenommen hatte.

10. Die Registrir-Uhr.

Die Schliessung der galvanischen Batterie je auf kurze Zeit nach gleichen Zeitintervallen wird durch eine Feder-Uhr mit Secunden-Pendel von Leuenberger in Sumiswald bewerkstelligt. Zu dem Ende ist derselben ein ebenfalls durch eine Feder getriebenes Laufwerk beigefügt, das durch die Uhr alle 10 Minuten ausgelöst wird und dann ein besonderes Rad einmal umdreht. Bei dieser Umdrehung schleift ein Platinstift an der Peripherie dieses Rades der Reihe nach über drei, mit aufgelötheten Platinblechen versehene, von einander isolirte Federn hin und schliesst so in ganz kurzen Intervallen drei gesonderte Leitungen, die mit den Polen der galvanischen Batterie in Verbindung stehen. Der eine Pol der Batterie ist nämlich durch einen mit Guttapercha überzogenen Kupferdraht mit der Axe des obigen Rades verbunden, während drei entsprechende, gesonderte und mit den drei Contactfedern verbundene Drähte schliesslich wieder im andern Pol der Batterie zusammenlaufen. In diese drei gesonderten Leitungen sind die obigen 7 Instrumente mit ihren Electromagneten eingeschaltet und zwar in die eine das Barometer und die zwei Thermometer, in die andere die beiden Windmessungsinstrumente und in die dritte der Regenmesser und das Hygrometer. In Folge dieser Combination wurde es möglich, durch eine Batterie von bloss 12 statt 36 Elementen die Registrirungen bei sämmtlichen Instrumenten ausführen zu lassen.

Digitized by Google

Uhr- und Laufwerk sind alle 8 Tage aufzuziehen. Was den regelmässigen Gang der Uhr betrifft, so lässt er ziemlich zu wünschen übrig, würde aber wohl ganz befriedigend werden, wenn man statt der Feder ein Gewicht als treibende Kraft benutzen würde. Wenigstens ist der Gang einer andern ähnlichen Uhr, die sogar alle Minuten in ganz entsprechender Weise ein Laufwerk auslöst, aber durch Gewichte getrieben wird, sehr befriedigend.

11. Universal-Registrir-Apparat.

Der Universal-Registrir-Apparat repräsentirt eine Vereinigung der fünf zuerst beschriebenen Instrumente. Er ist nach Photographieen auf Taf. XXVIII in der Vorderansicht, auf Taf. XXIX in der Seitenansicht dargestellt.

Sämmtliche fünf Instrumente verzeichnen hier ihren Stand nebeneinander auf demselben 120^m langen und 0,6^m breiten Papierstreifen, der sich von einer Rolle abwickelt. Die Axen dieser Rolle werden von zwei starken und durchbrochenen Seitenplatten von Messing getragen, die auf einem eisernen Rahmen aufgeschraubt sind; der letztere entspricht der Grundplatte J bei den einzelnen Apparaten, während die beiden erstern den Platten H und H' entsprechen.

Vor dem Papiere befinden sich zunächst rechts die beiden auf ein und demselben Stahl-Cylinder verschiebbaren Zeigerschlitten des Regenmessers und des Windstärkemessers, welche, wie aus der Seitenansicht deutlicher zu erkennen ist, durch das Wasserrädchen und durch die Stange des Windflügels vermittelst ganz gleicher Uebersetzungen bewegt werden, wie bei den einzelnen Instrumenten dieser Art. Aus der Seitenansicht ist auch zu ersehen, wie dem Wasserrädchen das Wasser aus dem das Auffanggefäss repräsentirenden Cylinder auf dem Gehäuse zugeleitet und aus dem unter dem Rädchen befindlichen Gefäss wieder nach aussen fortgeführt wird.

In der Mitte bewegt sich vor dem Papier der Zeiger des Barometers. Es sitzt derselbe an der nach vorn verlängerten Axe des Wagebalkens, während dieser selbst hinter dem Eisen-Rahmen sich befindet, so dass auch die Barometer-Röhre hinter diesem Rahmen heruntergeht und in das untere sichtbare cylindrische Gefäss mit Quecksilber eintaucht. Das hintere Lager der Axe ist an einem hintern Fortsatz des Eisen-Rahmens, das vordere an einer Messingplatte befestigt, die von auf dem Eisen-Rahmen aufgeschraubten Säulen

Digitized by Google

getragen wird. Im Uebrigen unterscheidet sich auch dieses Barometer in Nichts von dem oben beschriebenen.

Es folgt nun nach links hin der Zeiger des Thermometers bestehend aus einer drehbaren Messinglamelle mit Gegengewicht oberhalb der Axe, so dass diese sehr nahe durch den Schwerpunkt geht. Die Axe wird in ganz gleicher Weise wie diejenige des Barometer-Wagbalkens getragen und besitzt an ihrem hintern Ende einen Fortsatz nach oben, der dann horizontal umgebogen und vermittelst einer Gabel in einen Stift am äussern Ende der thermometrischen Spirale eingelenkt ist. So wird die Bewegung des Spiralendes in einer horizontalen Ebene übergetragen in eine etwas vergrösserte Bewegung des Zeigerendes in einer Verticalebene. Die Spirale selbst befindet sich hinten ausserhalb des Gehäuses, ihr winkelförmiger Träger aber ist unmittelbar an dem mehrfach erwähnten Eisen-Rahmen befestigt.

Die äusserste Stellung links nimmt endlich der Windrichtungsmesser ein, dessen Construction nur in einem Punkte von derjenigen des oben beschriebenen Instrumentes abweicht. Die Markirstiften sind hier nämlich nicht unmittelbar an den 8 Stahlfedern befestigt, welche durch die Wulste nach hinten gedrückt werden, sondern an den untern Armen von kleinen Hebeln, deren Axen von den Stahlfedern getragen werden und die durch schwächere Messingfedern an ihrem obern Ende stets hinten an die Stahlfedern angedrückt werden. Bei der Registrirung schlägt nun die gabelförmige Querschiene, in deren Schlitz die Zeiger der übrigen Instrumente laufen, auf Knöpfe an den obern Armen dieser Hebel, überwindet die Kraft der schwächern Messingfedern und hebt so durch Zurückdrücken dieser obern Arme die Spitzen an den untern aus dem Papier, in welchem beständig mindestens eine derselben steckt, heraus. Die Spitzen selbst bilden die eine Seite von Parallelogrammen, so dass sie stets senkrecht zur Papierfläche bleiben.

Die Registrirung und Fortschiebung des Papiers nach jeder Markirung wird ebenfalls durch ganz entsprechende Theile wie bei den einzelnen Apparaten bewerkstelligt. Beiderseits aussen an den Seitenplatten sind nämlich kräftige Electromagnete angebracht, deren Ankerhebel auf einer gemeinschaftlichen Stahlaxe befestigt sind und durch starke Messingfedern nach vorn heruntergezogen und so von den Polen entfernt werden. An nach oben gerichteten Fortsätzen dieser Ankerhebel sind dann die Enden der schon erwähnten gabelförmigen, quer

Digitized by Google

herübergehenden Metallschiene, sowie die Haken befestigt, welche durch Eingreifen in Zahnräder an den beiden Enden der hintern Walze die Fortschiebung des Papiers bewerkstelligen. Das letztere wird auch hier wieder dadurch gespannt, dass es unterhalb der Markirstiften zwischen den beiden Walzen durchgeht, von welchen die vordere, in der Zeichnung allein sichtbare durch Federn gegen die hintere angedrückt wird, und oberhalb gerade hinter der Schiene eine Lamelle durch Federn beiderseits gegen das Papier resp. eine feste Unterlage hinter demselben angepresst wird. Zur bequemern Abnahme der Aufzeichnungen werden endlich bei diesem Apparate noch besondere Stundenpuncte notirt. Auf jeder Seite der untern, das Papier fortbewegenden Walze ist nämlich ausser den schon erwähnten Zahnrädern noch ein Stahlrad festgemacht, das an seiner Peripherie auf je sechs Zähne der letztern einen Einschnitt besitzt. Durch eine an der Schiene befestigte Feder wird nun beständig ein Hebel mit vorstehendem Zahn gegen die Peripherie dieses Stahlrades angepresst. So oft also ein Einschnitt unter den Zahn kömmt, so wird der Hebel durch die Feder nach hinten gedrückt und damit eine Spitze an seinem obern Ende, welche sich in gleicher Linie mit den Markirstiften befindet, in das Papier eingestochen. Diese Spitze ist ebenfalls, wie diejenigen an den Zeigern, in einem drehbaren Stück befestigt, so dass die Fortbewegung des Papiers dadurch nicht gehemmt wird. Da die Spitze mit dem Papier nicht zur Berührung kommen kann, so lange ein massiver Theil des Rades dem Zahn gegenübersteht, so wird also je sechs Markirungen durch die Zeigerspitzen eine durch diese letztern Spitzen entsprechen und da alle 10 Minuten eine gewöhnliche Markirung erfolgt, so werden eben die letztern Puncte je dem Intervall einer Stunde entsprechen. Zieht man also durch die entsprechenden Stundenpuncte auf beiden Seiten gerade Linien über das Papier hin, so werden auf dieser auch die den vollen Stunden zukommenden Markirungen der einzelnen Zeiger liegen und so herausgehoben werden. Nur beim Thermometer und Barometer werden die betreffenden Puncte hie und da oberhalb diese Linie fallen, da die betreffenden Zeiger keine Geraden, sondern Stücke von Kreisbogen beschreiben. Der Radius dieser Kreisbogen ist indessen so gross, dass nur bei sehr extremen Ständen Correctionen nach besonders markirten Punkten bei diesen Instrumenten nothwendig werden dürften. Um endlich auch noch in anderer Hinsicht den Gebrauch dieses Apparates bequemer zu machen,

Digitized by Google

sollen die ein für alle Male ermittelten Scalen der einzelnen Instrumente auf dem Papier aufgetragen werden, so dass man unmittelbar den Stand derselben aus den Aufzeichnungen nach Graden, Millimetern etc. ablesen kann.

Der ganze Apparat ist zunächst, wie die Abbildung zeigt, zum Schutz gegen Staub u. dgl. in ein Holzgehäuse mit Glasthüren eingeschlossen, aus welchem nur die Stangen der Windmessungsinstrumente oben, die Zu- und Abflussröhren für das Wasser des Regenmessers sowie das Thermometer hinten heraustreten. Da der Apparat selbstverständlich im Freien etwa auf einer Terrasse, oder dem Dach eines Hauses, oder in einem Garten aufzustellen ist, so muss er zum Schutz gegen atmosphärische Einflüsse noch mit einem der jeweiligen Localität anzupassenden äussern Kasten umgeben werden — etwa wie unser oben beschriebenes Windmessungsinstrument —, der gegenüber der Thermometerspirale mit jalousieförmigen Oeffnungen versehen wäre und oben das Auffanggefäss für den Regenmesser, sowie die Ständer für die Windfahne und den Windflügel tragen würde. Die letztern sind nach der Zeichnung provisorisch auf dem innern Kasten befestigt worden.

Es steht zu erwarten, dass dieser Apparat, da er nur eine Vereinigung der fünf bereits geprüften Instrumente darstellt, ebenso sicher wie diese functioniren wird. Die Bestimmung der Scalen der einzelnen Instrumente ist selbstverständlich in gleicher Weise, wie oben angegeben worden ist, auszuführen; auch sind Uhr und galvanische Batterie zum Betrieb von den beschriebenen durch nichts unterschieden.

II. Verarbeitung der Registrirungen.

Die Aufzeichnungen der fünf zuerst beschriebenen Instrumente werden seit 1864 regelmässig in folgender Weise verarbeitet.

Zunächst wird zur Controlle fast täglich einmal bei allen Instrumenten zu einem der Registrirpunkte die betreffende Uhrzeit mit Bleistift hinzugeschrieben.

Am ersten jedes Monats werden dann die Papierstreifen mit den Registrirungen des verflossenen Monats abgeschnitten, auf denselben die einzelnen Punkte von den Zeitmarken aus nachgezählt, die den ganzen Stunden entsprechenden Punkte durch Striche herausgehoben

Digitized by Google

und auch noch von 2 zu 2 oder 4 zu 4 Stunden die Stundenzahl sowie den Registrirungen eines Tages das Datum beigesetzt.

Beim Thermometer und Barometer bestimmt man darauf die wahren Tagesmittel in der Art, dass man parallel zur Längsfurche in der Mitte der Papierstreifen eine dem Nullpunkt der Temperatur resp. dem Barometerstand von 700^{mm} entsprechende Gerade zieht, dann von den Mitternachtspunkten Senkrechte auf letztere fällt und für jeden Tag vermittelst eines Amsler'schen Planimeters den Inhalt der von zwei benachbarten Senkrechten, der Geraden unten und der Temperaturcurve resp. Barometercurve oben abgegrenzten Figur nach Quadrat-Millimetern misst. Dieser Inhalt, durch die nach Millimetern abgemessene Länge der Basis der Figur dividirt, gibt die Höhe eines Rechtecks von gleicher Basis und gleichem Inhalt in Millimetern, somit auch die Mitteltemperatur resp. den mittlern Barometerstand des betreffenden Tages, wenn wir diese Höhe mit dem oben ermittelten, einem Millimeter Länge entsprechenden Gradwerth oder Werth des Barometerstands multipliciren. Ausserdem entnimmt man auch bei denselben Instrumenten den Aufzeichnungen die den Beobachtungsterminen auf den gewöhnlichen Stationen, nämlich 7 Uhr Vm., 1 und 9 Uhr Nm., entsprechenden Temperaturen und Barometerstände durch Auflegen der Hornscalen auf das Papier, sowie endlich die Maxima- und Minima-Stände jedes Tages und ihre Differenz. — Die Resultate dieser Bearbeitung sowie die arithmetischen Mittel der drei täglichen Terminsbeobachtungen und ihre Differenz gegen das betreffende wahre Tagesmittel werden in ein besonderes Buch eingetragen. — Um auch die tägliche Periode der Temperatur zu gleicher Zeit durch diese Bearbeitung zu erhalten, hat man in neuester Zeit die planimetrische Messung zur Bestimmung der wahren Tagesmittel aufgegeben und diese schlechtweg aus den Aufzeichnungen aller vollen Tagesstunden durch Ziehung des Mittels derselben entnommen. Diese den einzelnen vollen Tagesstunden zukommenden Temperaturen und Barometerstände werden nun ebenfalls in dasselbe Buch eingetragen. — Ein Auszug aus diesem Buche, nämlich die wahren Tagesmittel, ihre Differenz gegen das arithmetische Mittel der drei Termine, sowie die Maxima- und Minima-Werthe, erscheint seit Beginn des meteorologischen Jahres 1864 regelmässig in den gedruckten Publicationen der schweizerisch meteorologischen Beobachtungen.

Aus den Aufzeichnungen des Windrichtungsmessers werden die

Digitized by Google

mittleren stündlichen Windrichtungen nach der achttheiligen Windrose abgeleitet und diese mit den Summen des vom Winde zurückgelegten Weges und des Niederschlags in der betreffenden Stunde zufolge den Angaben des Windstärkemessers und des Regenmessers combinirt. In ein Buch nämlich, das auf zwei gegenüberstehenden Seiten je acht, den Hauptwindrichtungen entsprechende Columnen enthält, werden für jede Stunde des Tages in aufeinanderfolgenden Horizontalreihen auf der ersten Seite die Summen der vom Winde während derselben zurückgelegten Wege nach Kilometern und Hundertstel derselben und auf der zweiten die Summen der Regenhöhen in dieser Stunde nach Millimetern und Hundertstel Millimeter je in diejenigen Columnen eingetragen, welche zufolge den Angaben des Windrichtungsmessers dem mittlern oder vorherrschenden Winde während dieser Stunde entsprechen. Die Ziehung dieser Summen wird durch Benutzung eines Thomas'schen Arithmometers sehr erleichtert. Auch aus diesem Buche wird ein Auszug in den oben erwähnten Publicationen seit Juni 1864 regelmässig veröffentlicht, nämlich die täglichen Summen der Zahlen der erwähnten acht Columnen mit Beisetzung der stündlichen Dauer der Winde resp. der Niederschläge.

Auf Grund dieser Bearbeitungen der Aufzeichnungen unserer Registririnstrumente wird es später ein Leichtes sein, die periodischen und nichtperiodischen Witterungsverhältnisse Berns ihren Mittelwerthen nach mit Sicherheit festzustellen. Wegen der etwas mühsamen Abzählung der Markirpunkte auf den einzelnen Streifen nehmen die erwähnten Bearbeitungen der Registrirungen sämmtlicher Instrumente durchschnittlich je den halben Arbeitstag eines besonders Angestellten in Anspruch. Indem ich Herrn Hasler veranlasste, die einzelnen Instrumente zu einem Universal-Apparat zu vereinigen, bezweckte ich zunächst, diese Bearbeitung der Aufzeichnungen bedeutend zu vereinfachen. In der That werden wohl die Markirung der Stundenpunkte am Rande, die unmittelbar durch eine Liniatur auf das Papier aufzutragenden Scalen der Instrumente, sowie endlich die Registrirung der letztern auf demselben Papierstreifen nebeneinander bei diesem Apparate die auf die Bearbeitung zu verwendende Zeit nahezu auf die Hälfte herunterbringen. Der Universal-Apparat bietet aber auch noch den weitern Vortheil dar, dass man zu jeder Zeit und viel bequemer die Angaben der verschiedenen Instrumente miteinander vergleichen und so den Verlauf exceptioneller und kurz vorübergehender meteoro-

Digitized by Google

logischer Erscheinungen, wie Gewitter, Stürme etc., genauer verfolgen kann. Es erhellt dies deutlich aus der Registrirung eines Gewittersturms vom 7. Juni 1864 durch unsere fünf Instrumente, wovon die Taf. XXX ein getreues Fac-Simile darstellt. In dieser Zeichnung sind bloss die gesonderten Registrirungen der verschiedenen Apparate analog, wie dies beim Universal-Apparat der Fall sein würde, auf einem Blatte vereinigt und an die Stelle der feinen Löcher in den Originalien schwarze Punkte gesetzt worden. Auch hat man, wie dies ebenfalls beim Universal-Apparat geschehen würde, Stundenlinien gezogen und die Scalen wenigstens theilweise aufgetragen.

Wie üblich theilen wir schliesslich noch die Preise mit, für welche die oben beschriebenen Instrumente von der eidgenössischen Telegraphen-Werkstätte der Herren Hasler & Escher in Bern angefertigt werden.

Preis-Verzeichniss

der selbstregistrirenden Instrumente.

1.	Thermometer mit einfachem Gehäuse	260	francs.
2.	Barometer	380	„
3. 4.	Windrichtungsmesser, Windstärkemesser { mit innern und gemeinschaftlichem äusserm Gehäuse }	920	„
5.	Regenmesser mit einfachem Gehäuse	540	„
6.	Hygrometer mit innerm und äusserm Gehäuse . . .	330	„
7.	Universal-Registrir-Instrument mit innerm und äusserm Gehäuse	2100	„
8.	Registrir-Uhr mit Gehwerk und Contactwerk, 8 Tage gehend	225	„
9.	Galvanische Batterie von 12 grossen Zink-Kohlen-Elementen	144	„

Digitized by Google

De la Rue und die Photographie des Himmels.

(Aus dem Quartarly Journal of Science, No. XI, July 1866, p. 358, übersetzt.)

Es ist jetzt gegen zwanzig Jahre, seitdem wir über die von einem Franzosen gemachte bemerkenswerthe Entdeckung eines Vorganges berichtet haben, bei welchem auf in eine Camera obscura gebrachte präparirte Metallplatten ausserhalb befindliche Gegenstände mit einer Vollkommenheit im Detail und einer Feinheit in der Zeichnung abgebildet werden, die durch Menschenhand nie erreicht werden kann. Die so von Daguerre erhaltenen Bilder erregten sogleich allgemeine Bewunderung.

Nachdem auf diese Weise die wissenschaftliche Welt die Thatsache erlangt hatte, dass die Strahlen der Sonne auf präparirten Platten die Gegenstände, welche sie beleuchten, copiren, ging man mit Eifer daran, die eigenthümlichen Erscheinungen der Photographie näher zu studiren. Es darf übrigens nicht vergessen werden, dass Wedgwood unter Assistenz von Davy schon im Jahre 1803 unhaltbare photographische Bilder zu Stande gebracht hatte.[1]) H. Fox Talbot stellte bald nach der Daguerre'schen Entdeckung seine photogenischen Zeichnungen her, worauf später dessen schöne Calotypbilder folgten. John Herschel untersuchte mit grossem Fleisse und Geschicklichkeit die chemischen Wirkungen, welche an organischen und unorganischen Substanzen durch die Sonnenstrahlen hervorgebracht werden. Robert Hunt veröffentlichte in rascher Aufeinanderfolge seine Entdeckungen über die hervorrufende Kraft des schwefelsauren Eisenoxyduls, über den Einfluss der chemischen Strahlen auf die Beschleunigung des Aufkeimens der Samen, über seine Chromatypie, sowie über andere bei Erzeugung von photographischen Bildern wichtige Vorgänge. Ausserdem zeigte dieser Photograph in der zweiten

1) Journal of the Royal Institution, Vol. I.

Digitized by Google

Sitzung der Brittischen Association zu York im Jahre 1844, dass die von den Sonnenstrahlen erzeugten chemischen Wirkungen nicht in deren Leuchtvermögen ihren Grund haben, sondern eine Folge der dunklen Strahlen sind, für welche Kraft er den Namen Aktinismus in Vorschlag brachte, der seitdem allgemein angenommen worden ist.

Diese Untersuchungen schienen die von Berard im Jahre 1812 erhaltenen Resultate und vorgeschlagenen Hypothesen zu bestätigen, über welche von Berthollet, Chaptal und Biot Bericht erstattet worden war.[1])

Wenige Jahre vergingen, da entdeckte Professor Schönbein die Schiessbaumwolle und suchte in der Sitzung der Brittischen Association zu Southampton im Jahre 1846 ihre Vorzüge vor dem Schiesspulver darzuthun. Als zerstörendes Agens für die Anwendung bei Geschossen und zum Felsensprengen hat sich die Schiessbaumwolle zwar nicht Bahn gebrochen; dagegen bildet sie in Aether aufgelöst das Collodium, welches Archer im Jahre 1851 zur Vervielfältigung der Bilder anwenden lehrte, und das Verfahren, welches nach dem Collodium seinen Namen trägt, wird nun ganz allgemein jedem anderen photographischen Verfahren vorgezogen.

In einer früheren Periode (1838—40) kam man darauf, dass die von den Sonnenstrahlen an Silbersalzen hervorgebrachten Veränderungen dazu verwendet werden können, meteorologische und andere Instrumente selbstregistrirend zu machen. Im Jahre 1838 erdachte und benützte T. B. Jordan, damals Secretär der königl. Polytechnischen Gesellschaft zu Cornwall, photographische Methoden zu registrirenden Barometern, Thermometern und Magnetometern.[2]) Diese Methoden,

---

1) Um die grosse Verschiedenheit, welche in dieser Hinsicht zwischen der Wirksamkeit der verschiedenen Strahlen besteht, klar einzusehen, concentrirte Berard mittelst einer Linse denjenigen Theil des Spectrums, der sich vom Grün bis zum äussersten Violett erstreckt, und ebenso mittelst einer zweiten Linse den Theil zwischen dem Grün und dem äussersten Roth. Dieser letztere Lichtbüschel bildete einen so glänzenden Punkt, dass ihn die Augen kaum ertragen konnten; allein salpetersaures Silber, das länger als zwei Stunden diesem glänzenden Lichtpunkt ausgesetzt war, zeigte keine merkliche Veränderung. Wurde es dagegen dem anderen, weit weniger breiten und hellen Lichtbüschel exponirt, so war es in weniger als sechs Minuten ganz schwarz. — Report of the Commissioners. Annales de Chimie. Siehe noch: Report on the Chemical Action of Lolar Radiations. Transaction of British Association for 1850. Vol. LXXXV, p. 309.

2) On a New Method of Registering the Indications of Meteorological Instruments. By T. B. Jordan. Sixt Report of Royal Cornwall Polytechnik Society. 1838.

Digitized by Google

von Brooks und Ronalds modificirt, wurden in der Folge in den Observatorien zu Kiew und Greenwich eingeführt, wo namentlich an letzterem Orte unter der Direction von Professor Airy ein Strahl künstlichen Lichtes nun Tag und Nacht jede aus den Variationen der erdmagnetischen Kraft resultirende Bewegung der Magnetnadel sowie den Eintritt der eigenthümlichen Erscheinungen der sogenannten magnetischen Stürme registrirt, deren inniger Zusammenhang mit der Häufigkeit der Sonnenflecken nun durch die Untersuchungen von General Sabine bewiesen ist. Die Erscheinungen der Sonnenflecken werden aber gegenwärtig durch die Photographie des Himmels — wenn dieser Ausdruck gebraucht werden darf — erforscht. Da die Photographie ihre Fortschritte wie eine Kunst machte, so wurde sie nur in wenigen Händen als ein Hilfsmittel bei wissenschaftlichen Untersuchungen angewendet. Sir John Herschel namentlich benützte chemische Verbindungen, auf welche das Sonnenlicht einwirkt, um die relativen Wirkungen der Sonnenstrahlen zu bestimmen, die von verschiedenen Theilen der Sonnenscheibe ausgehen, und dies führte gleichzeitig zwei Beobachter[1]) zur Feststellung der Thatsache, dass die chemische Wirkung derjenigen Strahlen, die vom Rande der Sonne ausgehen, geringer sind, als die Wirkung von Strahlen, die aus dem Centrum der Sonne kommen. Diese Thatsache wurde merkwürdiger Weise kürzlich von Professor Roscoe als eine neue Entdeckung hingestellt[2]), ohne dass er einen früheren Beobachter erwähnte, mit Ausnahme von Secchi, dessen Beobachtungen sich jedoch auf die Wärmewirkungen und nicht auf die chemischen Wirkungen der Sonnenstrahlen beziehen. Es ist richtig, dass Prof. Roscoe eine Reihe ausgezeichneter Experimente angestellt und bewiesen hat, „dass die Intensität der chemisch wirksamen Strahlen im Centrum drei- bis fünfmal so gross ist als die am Rande der Scheibe"; allein er hat dadurch nur

1) Das Philosophical Magazine, vol XVI, 3 serie, enthält einen Auszug aus einer von John Herschel vor der Royal Society gelesenen Abhandlung; dasselbe Monatsheft dieses Magazins brachte auch eine Arbeit von Robert Hunt „Experiments and Observations on Light which has permeated coloured Media, and on the Chemical Action of the Solar Spectrum". In beiden Arbeiten ist die im Texte angegebene Thatsache zuerst constatirt.

2) On the Measurement of the Chemical Brightness of various Portions of the Suns Disc. By Henry Enfield Roscoe, B. A., F. R. S. Eingelaufen 12. Juni 1863.

Digitized by Google

die bereits veröffentlichten Resultate bestätigt.[1]) Im Jahre 1840 z. B., in den Philosophical Transactions (Part I, p. 43), spricht Sir John Herschel bestimmt aus, dass er entdeckt hat „einen wirklichen Unterschied in den chemischen Wirkungen derjenigen Strahlen, welche vom mittleren Theile der Sonnenscheibe ausgehen, und denjenigen, welche von ihren Rändern kommen, und so der absorbirenden Wirkung einer grösseren Tiefe der Atmosphäre unterworfen waren"; ich bin nun wirklich selbst in Verlegenheit, was für eine andere Ursache ich dafür angeben soll. Es muss vor der Hand hinreichen, den Wink gegeben zu haben, indem ich bemerke, dass ich die Existenz einer absorbirenden Sonnenatmosphäre, welche die leuchtende Hülle umgibt, mit entschiedener Evidenz dargethan habe. Die Breite des Randes ist nach meiner Beobachtung gering und überschreitet nicht 0,5 oder den siebenten Theil des Radius der Sonne; dieser Umstand musste der Natur der Sache nach die Genauigkeit der Experimente beeinträchtigen."

Robert Hunt bemerkte in der bereits angeführten Arbeit im Philosophical Magazine die gleiche Erscheinung und gab auch die gleiche Erklärung als die ungezwungenste; später hat Atrago in seinen Photometrischen Abhandlungen die Aufmerksamkeit wieder auf diese wichtige Thatsache gelenkt.

Die Resultate, welche seit 1840 erhalten wurden, schienen nicht blos darzuthun, dass die nahe am Rande der Sonnenscheibe erzeugten chemischen Strahlen beim Durchgange durch eine grössere Tiefe der Sonnenatmosphäre absorbirt werden, sondern dass hier eine wirkliche Interferenz (wenn man dieses Wort lieber in seiner gewöhnlichen Bedeutung als in seinem wissenschaftlichen Sinne gebraucht), hervorgebracht von den Lichtstrahlen, statthat, und dass die chemischen Strahlen ihren Ursprung in einer Zone haben, die tiefer liegt als diejenige, welche die Leuchtkraft erzeugt. Der dunkle Streifen, welcher an der Grenze des prismatischen Bildes der Sonne gesehen wird, rührt nicht blos von einer Dunkelheit der chemischen (actinischen) Intensität her, wie dies der Fall sein würde, wenn er seinen Grund in der Abschwächung durch die Absorption der Sonnenatmosphäre hätte, sondern er ist der Beweis eines geänderten Zustandes, so wie er sich bei

1) Siehe darüber: „On the Present State of our Knowledge of the Chemical Action of the Solar Radiations." A report to the British Association, in 1850, by Robert Hunt.

Digitized by Google

den dunklen Streifen zeigt, die unter den gelben und rothen Strahlen wahrgenommen werden, wo das Leucht- und Wärmevermögen ihr Maximum erreichen. Ueber diesen Punkt haben wir jetzt aber nur wenige Worte zu sagen.

Prof. Bond zu Cambridge war mit Whipple und Black zu Boston in den Vereinigten Staaten der Erste, welcher ein photographisches Bild von einem Himmelskörper herstellte. Es war dies ein Bild des Mondes, das auf einer Daguerreotypplatte erhalten wurde, die in dem Focus des Refractors am Harvard Observatorium angebracht war. Im Jahre 1851 waren einige dieser Daguerreotypien unseres Satelliten in der Americanischen Abtheilung der Grossen Ausstellung zu sehen. Im Jahre 1852 erhielt Warren de la Rue positive Mondsphotographien auf einer Collodiumplatte in 10 bis 30 Secunden mittelst eines äquatoreal montirten Reflectors von 13 Zoll Oeffnung und 10 Fuss Focallänge. Damals hatte de la Rue noch kein mechanisches Triebwerk an seinem Telescope angebracht. Er war deshalb gezwungen, einige andere Mittel zu erdenken, um der scheinbaren Bewegung des Mondes folgen zu können. Er erreichte dies im ersten Falle dadurch, dass er einen Mondberg beständig an dem Faden des Suchers mittelst des gewöhnlichen Handtriebwerkes des Telescopes festhielt; nachher erreichte er dies durch eine am Ocularträger befestigte Schlitteneinrichtung, wobei die Bewegung des Schlittens so adjustirbar war, dass er der scheinbaren Bewegung des Mondes folgte. Da das künstliche Bild des Mondes durch die Collodiumhaut hindurch gesehen und gegen die Collodiumplatte unbeweglich gemacht werden konnte, wenn man bewirkte, dass einer der Berge beständig in scheinbarem Contact mit einem groben Faden blieb, der in dem Focus eines zusammengesetzten Microscopes aufgespannt war, das auf der Rückseite einer kleinen Camera befestigt war, in welcher die Platte sich befand, so erhielt man auf diese Weise eine gute Wirkung.

Trotz der Nachtheile des Mangels eines automatischen Triebwerkes waren ausgezeichnete Resultate erhalten worden, was bewies, wie die Hand dem Auge gefügig gemacht werden kann. Warren de la Rue war bei seinen ersten Experimenten von Thornthwaite bedeutend unterstützt, da sich die Unmöglichkeit, ohne einen geübten Gehilfen zu arbeiten, herausgestellt hatte.

Im Jahre 1853 theilte Prof. John Phillips in der Sitzung der Brittischen Association die Resultate seiner Versuche in der Monds-

Digitized by Google

photographie mit und übergab einige vortreffliche Bilder unseres Satelliten. Hartnup zu Liverpool erhielt, unterstützt von Crooke und anderen Photographen, einige gute Bilder des Mondes im Jahre 1854. Peter Secchi zu Rom, Fry an Howell's Observatorium zu Brighton und Hyggins, der nun durch seine Anwendung der Spectralanalyse auf die Sterne, Nebelflecken und Cometen so bekannt geworden ist, stellten gleichfalls Bilder des Mondes her. Eine grosse Ausdehnung der Photographie des Himmels war im Jahre 1857 von Prof. Bond in Aussicht gestellt, als er das photographische Verfahren auf die Messung von Distanz und Positionswinkel der Doppelsterne und auch auf die Bestimmung ihrer Grösse anwandte. Er hatte den Erfolg, Bilder von Fixsternen bis zur 6. und 7. Grösse hinab zu erhalten, und Alles versprach eine erfolgreiche Zukunft, als der Tod seinen Arbeiten ein Ziel setzte.

In dem gleichen Jahre (1857) wandte Warren de la Rue ein Triebwerk an seinem Telescope mit einem Erfolge an, der allen gehegten Wünschen entsprach; und seit dieser Zeit verfolgte er unablässig die Photographie des Himmels, soweit es seine sonstigen Beschäftigungen und der Zustand des Himmels erlaubte.

Die Academie der Wissenschaften zu Paris hat kürzlich de la Rue's Arbeit anerkannt durch die hohe Auszeichnung des Lalande'schen astronomischen Preises. Aus der Adresse, welche bei Gelegenheit der Uebermittelung desselben beigegeben war, sind einige der folgenden Bemerkungen mitgetheilt worden. Als die so detaillirten Thatsachen alle der genauesten Prüfung unterzogen wurden, stand die folgende über allem Zweifel und bildete das beste Document, das man von dem Fortschritte geben konnte, welcher durch eine Untersuchung gemacht worden ist, die den Gebrauch der vollkommensten astronomischen Instrumente, die delicatesten Anwendungen der Physik und die empfindlichsten chemischen Zubereitungen in sich schliesst und zwar geleitet von einem eifrigen und bedachten Sinn; Warren de la Rue hat nämlich mittelst eines äquatoreal montirten Spiegeltelescopes von 13 Zoll Oeffnung, das von ihm selbst angegeben und in seiner eigenen Werkstatt verfertigt worden war, denjenigen Grad der Vollendung in der Photographie des Himmels erreicht, der ihm die goldene Medaille der Astronomischen Societät und die Königliche Medaille der Königlichen Societät eintrug.

Seine vortrefflichen photographischen Bilder unseres Satelliten, welche der wissenschaftlichen Welt bekannt sind, besitzen ihre eigenthümlichen Vorzüge einmal durch die Vollendung, zu welcher der optische Theil des Telescopes durch seine eigene Erfindung gebracht wurde, dann durch die bemerkenswerthe Leistung des treibenden Uhrwerks, welches nicht nur sanft und gleichmässig fortgeht, sondern auch rasch und leicht adjustirt werden kann, wie sich auch die Geschwindigkeit des Mondes nur ändern mag. De la Rue's chemische Bildung machte ihn überdies fähig, dasjenige richtige Verhältniss der chemischen Verbindungen seiner photographischen Präparate festzustellen, welches die zur Herstellung des Bildes auf der empfindlichen Platte erforderliche Zeit beträchtlich verkürzt, als auch die nachtheiligen

Digitized by Google

Effecte verzerrter Bilder zu vermindern, welche ihren Grund in der Unruhe der Luft haben. Auf solche Weise wurden von ihm wiederholt im Focus seines Reflectors so vollkommene Mondsbilder hergestellt als es bei der beträchtlichen Grösse — z. B. bei 38 Zoll Durchmesser — möglich war. Diese Bilder gestatten eine so genaue microscopische Messung, dass sie vortreffliche Daten für Untersuchungen bezüglich der angenommenen physischen Libration des Mondes ergeben; sie bilden die Grundlage zu der grossen Mondskarte von sechs Fuss Durchmesser, welche vom Monds-Comité der Brittischen Association als Basis für die unter Mitwirkung mehrerer Englischer Astronomen begonnene zonenweise Beobachtung der Mondsoberfläche zu Grunde gelegt wurde. Die allgemein bekannten, schönen stereoscopischen Mondsansichten haben bereits viel geleistet und können noch mehr leisten zur genaueren Kenntniss der Mondsoberfläche. Besonders die stereoscopischen Combinationen vergrösserter Bilder wurden berechnet, um eine genaue Kenntniss der relativen Höhe und Depression der Terassen, der wellenförmigen Parthien, der Dämme und Furchen unseres Satelliten zu erlangen.

Indem de la Rue den erfolgreichen Gegenstand weiter verfolgte, brachte er der Reihe nach Bilder des Saturn, Jupiter und Mars, sowie einige von Fixsternen zu Stande. Einer der schätzbarsten Beiträge de la Rue's zur astronomischen Photographie war indessen die Angabe des Photoheliographen am Kiew Observatorium und die Construction eines Micrometers zur Ausmessung der Autographien der Sonne, wodurch dieselben dem Calcul unterworfen werden konnten.

Sir John Herschel brachte nämlich in Anregung, dass es gewiss zu einer genauen Kenntniss unseres Lichtkörpers führen würde, wenn eine tägliche photographische Aufnahme der Sonnenoberfläche hergestellt würde. Auf diese Anregung hin und auf Ansuchen der königl. Societät construirte de la Rue den Heliographen zu Kiew, welcher im Jahre 1858 auf dem Kiew Observatorium der Brittischen Association errichtet wurde und seit dieser Zeit mehr oder weniger in Function war.

Im Jahre 1860 wurde dieser Heliograph auf Ansuchen der Royal Society nach Spanien gebracht und von de la Rue zu Rivabellosa mit Erfolg zur Herstellung einer Reihe von Bildern der totalen Sonnenfinsterniss vom 18. Juli vor, während und nach der totalen Verfinsterung in Anwendung gebracht.

Bei der Bakerian Vorlesung, gehalten am 10. April 1862 vor der Royal Society, wurden die bei Messung dieser Photographien angewendeten Methoden genau auseinander gesetzt und die Resultate weitläufig discutirt.[1])

In einer früheren Zeit wurden schon einige eigenthümliche Erscheinungen bei Sonnenfinsternissen beobachtet, besonders kurz vor und nach der totalen Verfinsterung. Im Jahre 1733 berichtet Rydhenius: „wenn die Sonne ihr Licht verliert und ebenso wenn sie es wieder erlangt, sendet sie Strahlen wie das Mondlicht aus, die von

1) Philosophical Transactions for 1862, vol CLII, p. 333.

Digitized by Google

einer feurigrothen Farbe sind.“ [1]) Delisle hat eine im Jahre 1738 gemachte Beobachtung erzählt, wo der Mondsschatten im Momente der totalen Verfinsterung an einer Mauer vorbeiging „gefärbt mit verschiedenen Farben“ — wer die Beobachtung angestellt hat, ist nicht angegeben.[2]) Im Jahre 1842 beobachteten nach Arago[3]) einige französische Astronomen ähnliche Erscheinungen wie die so eben angegebenen. Im Jahre 1836, bei Gelegenheit der ringförmigen Finsterniss vom 15. Mai, bemerkte Baily eine sehr auffallende Erscheinung, die er folgendermaassen beschreibt: „Wenn die Hörner der Sonne gegen 40° auseinander sind, bildete sich plötzlich rings um den Theil des Mondrandes, welcher eben in die Sonnenscheibe eintrat, eine Reihe von hellen Punkten gleich einer Schnur glänzender Perlen, ungleich an Grösse und Abstand von einander.“ Die gleiche Erscheinung zeigte sich in umgekehrter Ordnung bei der Auflösung des Ringes; sie wurde früher schon beobachtet (jedoch nie so vollständig beschrieben wie von Baily[4])) von Halley 1715, von Delisle 1724, von Prof. Bayne 1737, von Irvine 1748, von Webber 1791[5]) und einigen Anderen. Auf die Beobachtungen von Baily hin liessen die Astronomen keine Gelegenheit mehr unbenutzt vorübergehen und es nahmen noch andere, bemerkenswerthere Erscheinungen ihre Aufmerksamkeit in Anspruch. Bei weitem am auffallendsten, und wir möchten fast sagen unerklärlich, sind die rothen Protuberanzen, welche am Sonnenrande erscheinen, sobald die directen Strahlen vom Mondskörper abgehalten werden.

Die früheste Notiz von diesen rothen Protuberanzen, ausser der bereits besprochenen von Rydhenius, findet sich in einem Bericht über die totale Finsterniss vom Jahre 1755 von Vassenius in den Philosophical Transactions der königl. Societät.[6]) Vassenius spricht davon als von röthlichen Flecken, welche in der Mondsatmosphäre ausserhalb der Peripherie der Mondsscheibe erscheinen. Diese rothen Flecken scheinen zwar gelegentlich die Aufmerksamkeit auf sich gezogen zu haben; allein erst seit der Finsterniss vom Jahre 1842 wurden sie eifriger beobachtet. Mauvais, der diese Finsterniss zu Perpignan beobachtete, beschreibt die Erscheinung folgendermaassen: „Ich kann keine exactere Vorstellung, sagt er, von ihrem Anblicke geben, als wenn ich sie mit dem vergleiche, welchen die Gipfel der Alpen bieten, wenn sie bei Sonnenuntergang beleuchtet und aus der Ferne betrachtet werden.“ [7]) Mayette, ein französischer Ingenieurofficier, der gleichfalls zu Perpignan beobachtete, vergleicht die Protuberanzen mit hellen Flammen. Jeder Beobachter, der über diese Finsterniss schrieb, bemerkt, dass sie an mehreren Beobachtungspunkten in der

1) Acta Lit. et Scienc. Succ., tom IV, p. 61.
2) Mémoires pour servir à l'Histoire et au Progrès de l'Astronomie. St. Petersburg 1738.
3) Annuaire 1846, p. 399.
4) Memoirs of Astronomical Society, vol. X, p. 7.
5) Siehe „History of Physical Astronomy“ by Robert Grant.
6) Philosophical Transactions 1733, p. 135.
7) Annuaire 1846, p. 409.

Digitized by Google

Totalitätslinie gesehen wurden. Baily, der zu Pavia war, schreibt, dass die Protuberanzen den Anblick von beträchtlich hohen Bergen böten und dass ihre Farbe mit der einer Pfirsichblüthe zu vergleichen sei.[1]) Airy, der nahe bei Turin beobachtete, bemerkt, dass sie an Form fast den Zähnen einer Kreissäge glichen.

Littrow zu Wien und O. Struve haben sorgfältige Berichte über diese Protuberanzen gegeben. Sie wurden gleichfalls von anderen Astronomen in allen Erdtheilen wahrgenommen. John Herschel beschreibt sie folgendermaassen: „Bestimmte und sehr ansehnliche, rosagefärbte Protuberanzen wurden gesehen projicirt auf den dunkeln Mondrand. Die Einen verglichen sie mit Flammen, die Andern mit Bergen; aber ihre enorme Grösse und ihre feine Erleuchtung bewiesen hinlänglich, dass man hier wolkenartige Massen von der grössten Feinheit vor sich hatte."

Im Jahre 1851 gelang es Busch, eine Daguerreotypie der totalen Finsterniss dieses Jahres mit dem Königsberger Heliometer zu erhalten. Auf dieser Daguerreotypie sah man die Protuberanzen, jedoch nicht ganz bestimmt.

Im Jahre 1859 begann de la Rue seine Vorversuche, um bei der Finsterniss im Jahre 1860 günstige Resultate mittelst der Photographie zu erhalten; die ihm entgegentretenden Schwierigkeiten waren aber sehr bedeutend. Es geht dies am besten aus de la Rue's eigenen Worten hervor: „Ich zog bei denjenigen Astronomen, welche die Finsterniss im Jahre 1851 gesehen hatten, Erkundigungen ein über die Lichtintensität der Corona und der rothen Flammen im Vergleiche zu der des Mondes, so wie über ihre gegenseitige relative Helligkeit.... Im Allgemeinen ging aus dieser Information hervor, dass das von den Corona und den rothen Flammen zusammengenommen ausgesendete Licht etwa dem des Vollmondes gleichkommt, eher schwächer als stärker ist; kein einziger Beobachter hatte jedoch die Helligkeit der Protuberanzen im Vergleiche mit der der Corona genau angegeben."[2]) Zahlreiche Experimente wurden nun angestellt und es zeigte sich deutlich, dass die grösste Empfindlichkeit der Collodiumplatten zu erzielen sei, wenn die Hoffnung vorhanden sein sollte, dass Photographien dieser „Wolkenmassen von der grössten Feinheit" gelingen würden. Das Resultat dieser Vorversuche war, „dass Silberbäder, auf die gewöhnliche Weise aus krystallisirtem Silbernitrat präparirt, hergestellt und zur Herstellung von Bilder der einzelnen Phasen der Finsterniss, mit Ausnahme des der Totalität, verwendet wurden. Für letzteren Zweck wurden Bäder aus Silbernitrat hergestellt, welches in meinem eigenen Laboratorium mit der grössten Sorgfalt präparirt wurde; diese Bäder waren so ausnehmend empfindlich, dass sie Photographien des Vollmondes im Focus meines Reflectors in weniger als einer Zeitsecunde gaben, während mit dem gewöhnlichen Bade fünf Secunden kaum hinreichend waren, um ein Bild von ähnlicher Inten-

1) Memoirs of Astronomical Society, vol. XV, p. 6.
2) Memoirs of Astronomical Society, vol. XV, p. 16.
3) Philosophical Transactions 1862, vol. CLII, p. 334.

Digitized by Google

sität zu geben."[1]) Vierunddreissig Centner Apparate, in dreissig Kisten verpackt, wurden auf dem Himelaya nach Spanien verschifft, der im Hafen von Bilboa landete, und von da nach Rivabellosa, siebenzig Meilen weit, mit den gewöhnlichen Verkehrsmitteln des Landes gebracht. Alles war hinlänglich arrangirt und „es wurden über vierzig Photographien während der Finsterniss und ein wenig vor und nach derselben erhalten, zwei sogar während ihrer Totalität, auf welchen die Protuberanzen mit einer Schärfe in Bezug auf die Begrenzung und Lage abgebildet waren, wie sie unmöglich durch gewöhnliche Beobachtung mit dem Auge erhalten werden kann. Auf solche Weise wurde der Zweck vollständig erreicht und wir besitzen ein gesichertes Document von der eigenthümlichen Wirksamkeit der Sonne, oder vielmehr von ihren Wirkungen, welches uns bedeutende Hilfsmittel für die Untersuchung der physikalischen Beschaffenheit des Sonnenkörpers und seiner gasförmigen Umhüllungen an die Hand gibt. In Bezug auf einen vollständigen und detaillirten Bericht über die verwendeten Apparate und über die in Anwendung gebrachten Methoden, sowie über die genaue Beschreibung der Finsterniss selbst müssen wir unsere Leser auf die bereits citirte Bakerian Vorlesung verweisen.

In dieser Schrift sind die bei der Ausmessung der Photographien angewendeten Methoden genau auseinander gesetzt und die erhaltenen Resultate weitläufig discutirt. Da die Positionen der leuchtenden Protuberanzen bei der Totalität an Bildern gemessen wurden, welche an zwei verschiedenen Zeiten erhalten waren, einmal unmittelbar nach dem Verschwinden und dann kurz vor dem Wiedererscheinen der Sonne, so zeigte sich, dass die Aenderung des Positionswinkels der Protuberanzen in Bezug auf den Mond der Annahme entspricht, dass sie zur Sonne selbst gehören; dass die Flammen also nur scheinbar, nicht wirklich bei der Bewegung des Mondes über sie hinweg — d. h. wenn der Mond einen Theil bedeckt und einen anderen enthüllt — ihre Lage ändern und keiner anderweitigen Aenderung unterliegen; so dass, wenn das Uhrwerk, welches das Telescop bewegt, nach der Bewegung der Sonne adjustirt ist, die rothen Flammen stillstehen. Ueberdies ergab sich durch Vergleichung der photographischen Bilder mit den von de la Rue am Fernrohre zu gleicher Zeit angestellten Beobachtungen, dass mit dem Auge nicht wahrnehmbare Protuberanzen auf den Photographien abgebildet waren, was wieder in neuer Weise den Unterschied zwischen der chemischen und Licht-Wirkung der Sonnenstrahlen darthut.

Eine eigenthümliche Frage ergab sich aus der Betrachtung der chemischen Wirksamkeit dieser Hervorragungen, seien es Flammen oder Wolken. Wir erhalten nie, wie bereits festgestellt wurde, unter gewöhnlichen Umständen ein scharfes Bild der Sonne ohne die Anzeichen eines bedeckten Kreises — d. h. eines Kreises, welcher eine geringe chemische Wirksamkeit zeigt — der die photographirte Scheibe umgibt. Wenn nun das Licht der Sonnenscheibe vom Mondskörper unterbrochen ist, so haben die vom Rande oder lieber von jenseits

1) Ibidem.

Digitized by Google

desselben kommenden Strahlen eine bedeutende chemische Kraft. Was ist nun die Ursache dieses überaus bemerkenswerthen Unterschiedes? Die Frage kann vielleicht einmal durch spätere Experimente beantwortet werden. Die Hervorragungen werden dem Auge während einer Finsterniss sichtbar, weil das Auge vom Monde vor dem intensiven Glanze des Sonnenlichtes geschützt ist. Sie gehören offenbar der Sonne an. Dies wurde auch durch eine sorgfältige Prüfung der vom Pater Secchi erhaltenen Photographien derselben Finsterniss bewiesen. Die leuchtenden Hervorragungen waren, wenn man die Parallaxe in Berücksichtigung zieht, bei beiden gleich, was beweist, dass keine Aenderung in der Form der Protuberanzen während einer Zeit stattfindet, die viel länger als die Dauer der totalen Finsterniss ist. Es muss in Betracht gezogen werden, dass die Finsterniss in einem Zeitintervalle von sieben Minuten sich ereignete zwischen Rivabellosa, wo de la Rue stationirt war, und Desierto de las Palmas, wo Pater Secchi beobachtete.[1]) Wie kommt es nun, dass die photographische Platte einen Eindruck von diesen feinen Bildern während einer Finsterniss erhält und selbst von solchen, die nicht Licht genug geben, um während der Totalität sichtbar zu sein — und dass sie keine chemische Veränderung auf unseren empfindlichen Platten erzeugen, wenn die Sonne nicht verfinstert ist? Die einzige Antwort, welche wir gegenwärtig zu geben in der Lage sind, ist die, dass das diffuse Licht, wenn die Sonne scheint, stark genug ist, um über die schwächeren chemischen Strahlen dieser Sonnen-Wolken oder Flammen die Oberhand zu gewinnen. Ist diese Antwort richtig, so wird auch noch die Ansicht bestätigt, dass die im Sonnenstrahle enthaltenen Principien, das Licht oder Leuchtvermögen und der Actinismus oder das chemische Vermögen, nicht Modificationen derselben Kraft sind, sondern vielmehr Kräfte, die zwar gegen einander ins Gleichgewicht gesetzt sind, in der That aber in einem Antagonismus stehen. Dass die Lichtstrahlen das Vermögen besitzen, die chemischen Strahlen gänzlich zu vernichten, geht auch aus einigen Experimenten von John Herschel[2]) und Anderen hervor.

Im Report on Celestial Photography in England 1859 finden wir eine vollständige Bestätigung dieser Ansichten. „Theile des Mondes, optisch gleich hell, sind chemisch nicht mehr gleich; es correspondiren deshalb auch Licht und Schatten auf einer Photographie nicht in allen Fällen mit dem Licht und Schatten im optischen Bilde. Die Photographie macht häufig Details noch sichtbar, die der optischen Beobachtung vollständig entgehen, und es lässt sich daraus auf eine fruchtbare Zukunft für selenologische Untersuchungen schliessen. Streifen z. B. von verschiedener Beschaffenheit reflectiren entschieden die chemischen Strahlen je nach ihrer Natur auf eine mehr oder weniger grosse Ausdehnung hin und können deshalb unterschieden werden. Die Mondsoberfläche nahe am dunklen Rande wird photographisch mit

1) Comparison of Mr. de la Rue's and Padre Secchi's Eclipse Photographs. By Warren de la Rue, F. R. S. — Proceedings of the Royal Society, vol. XIII, p. 442.

2) Memoirs of the Chemical Action of the Rays of the Solar Spectrum. Philosophical Transactions, 1840.

Digitized by Google

grosser Schwierigkeit aufgenommen und es erfordert manchmal eine fünf- bis sechsmal so lange Expositionszeit, die von schiefen Strahlen beleuchteten Theile herzustellen, als andere, die scheinbar nicht heller, aber günstiger beleuchtet sind. Der hohe Grund in der südlichen Mondshemisphäre wird leichter aufgenommen als der gewöhnlich Meer genannte tiefe Grund, an dem die nördliche Hemisphäre so reich ist. Unter diesen Umständen habe ich an einem anderen Orte (Monthly Notices of Astronomical Society) die Vermuthung ausgesprochen, dass der Mond eine Atmosphäre von grosser Dichtigkeit oder sehr geringer Ausdehnung habe und dass die sogenannten Meere mit einer Vegetation bedeckt sein könnten." [1])

Im Jahre 1853 wies Prof. John Philipps wirklich auf den Unterschied zwischen der optischen und chemischen Helligkeit einzelner Theile der Mondsoberfläche hin.

Die Anwendung der Photographie auf die Planeten durch Warren de la Rue und Andere bestätigt diese Thatsache. Die Bedeckung des Jupiters durch den Mond am 8. November 1856 z. B. bot eine besonders günstige Gelegenheit, um die relative Helligkeit unseres Satelliten und dieses Planeten zu vergleichen. Jupiter zeigte bei dieser Gelegenheit eine blassgrünliche Färbung, war nicht heller als der Krater Plato und seine Helligkeit betrug nach de la Rue's Schätzung etwa ein Drittel von der des Mondes; die chemische Wirksamkeit war jedoch gleich vier bis fünf Sechstel von der des Mondes gefunden worden. „Saturn," sagt derselbe Beobachter, „erfordert eine zwölfmal so lange Expositionszeit als Jupiter, um eine gleich intensive Photographie zu erhalten, und zwar mussten bei diesem Versuch die Nebenumstände noch besonders günstig sein. Ich erhielt ein Bild des Saturn zugleich mit dem des Mondes in fünfzehn Secunden am 8. Mai des laufenden Jahres (1859) als der Planet gerade hinter der Mondsscheibe hervortrat. Das Bild des Planeten war zwar fein, allein hinlänglich bestimmt und etwas verzogen."

Jupiter, Mars und Saturn wurden zugleich mit einigen Fixsternen photographirt, allein die Ausbeute hieraus ist nicht von dem hohen Werthe wie die bei unserem Satelliten. Beim Studium des grossen Mondsbildes, das in den Räumlichkeiten der königl. Societät hängt und mit Hilfe der Photographie hergestellt wurde, sehen wir, dass wir eine wundervoll genaue Abbildung der Mondsoberfläche vor uns haben. Wir sehen und können sowohl die Höhe ihrer Berge als die Tiefe ihrer Thäler messen. Ihre Küsten und Klippen, gegen welche, wie wir uns kaum anders denken können, einst ein Meer seine Wasser anschlug, sind scharf bestimmt. Wir können die Eruptionskrater nicht verkennen und wir sind in Verlegenheit bei solchen, welche wir Erhebungskrater nennen müssen, die weithin ausgedehnt das Resultat einer gewaltigen Kraft sind, welche aber unzureichend war, die steinige Blase zu zersprengen. Es sind hier so gewaltige Abgründe, dass in den untersten Tiefen, über welche sie sich erheben, Dunkelheit

1) Transactions of British Association, 1859, p. 145.
2) Ibidem, 1853. Transactions of Sections, p. 16.

Digitized by Google

herrscht, und Schluchten, welche in der That all den Einflüssen unterworfen scheinen, die der Aberglaube in so zauberhafte Tiefen in grosser Menge versetzt. Können wir nicht Eismoränen verfolgen? Und worauf sollen wir die mysteriösen Lichtstreifen zurückführen, welche von einigen Mondbergen ausgehen? Wir können nur Vermuthungen aussprechen, bis wir fortlaufende photographische Aufzeichnungen der Mondsoberfläche besitzen; und so müssen wir denn zuwarten, bis wir eine genauere Kenntniss von dem merkwürdigen Weltkörper haben, der speciell unserer Erde angehört und der deshalb von keinem gewöhnlichen Interesse für den Forschergeist ist.

Bei Gelegenheit von de la Rue's Besuch in Rom wurde in zweiter Linie auch der Versuch gemacht, die Distanz des Monds- und Sonnencentrums mit den Oertern der Tafeln zu vergleichen, um sich zu versichern, ob eine Correction an die in den Tafeln gegebenen Durchmesser der Sonne und des Mondes anzubringen sei; es zeigte sich, dass die letzteren grösser als die direct beobachteten Diameter waren. Die für den Mondsradius aus zwei Beobachtungsreihen erhaltene Correction wurde neuerdings zu 2″,15 berechnet, welcher Werth genau mit der Correction übereinstimmt, die Airy aus Brein's Reductionen vierzigjähriger Beobachtungen des Verschwindens und Aufleuchtens von Fixsternen am dunklen Mondsrande während Sternbedeckungen abgeleitet hat.[1])

Vom Jahre 1860 bis auf die Gegenwart wurden die mit dem Heliographen zu Kiew angestellten Beobachtungen von der Versammlung der königl. Societät unter de la Rue's Direction gestellt. Vom Februar 1862 bis Februar 1863 war das Instrument an das Observatorium zu Cranford gebracht; es wurde jedoch während dieser Zeit ein tüchtiger Assistent für das Observatorium zu Kiew eingeübt und so war das Instrument auf diesem Etablissement vom Mai 1863 bis jetzt in Thätigkeit.

Es sollten damit möglichst vollkommene Aufzeichnungen aller auf der Sonne statthabenden physischen Veränderungen erhalten werden. „Der Fortschritt der Wissenschaft," sagt de la Rue[2]), „hat bisher nichts in tieferem Dunkel gelassen als den Ursprung des merkwürdigen Ausströmens von Licht und Wärme, welches die hervorragendste Eigenthümlichkeit der Sonne ist; und bis auf diesen Tag ist noch nicht endgültig entschieden, ob diese Leuchtfähigkeit vom dunkeln Sonnenkörper oder von einer diesen umgebenden Hülle ausgeht. In der That sind manche der uns dargebotenen Formen so seltsam und unerklärlich, nicht nur bei unserer eigenen Sonne, sondern auch bei einigen Fixsternen, dass wir zur Vermuthung gezwungen werden, es wirken auf diesen Körper Kräfte, von deren Natur wir gar keine Kenntniss haben. Nehmen wir diesen Gesichtspunct an, so wird uns das Studium unseres Lichtkörpers eines der interessantesten, allein wir müssen dabei sehr vorsichtig zu Werke gehen und uns blos von

1) Monthly Notices of Astronomical Society, vol. XXV, p. 264.

2) Researches of Solar Physics. By Warren de la Rue F. R. S., Balfour Stewart F. R. S., and Benjamin Loewy. (First Series. „On the Nature of Sun Spots.")

Digitized by Google

der Beobachtnng leiten lassen. Wir müssen zahlreiche und genaue Darstellungen der Sonnenoberfläche erhalten und diese sorgfältig und ins Detail studiren, bevor wir es unternehmen, zu generalisiren."

In den citirten Untersuchungen finden wir von nicht weniger als 631 Gruppen von Sonnenflecken berichtet, welche auf dem Observatorium zu Kiew vom 11. März 1858 bis 31. December 1864 photographirt worden sind. Der Werth einer solchen continuirlichen Aufzeichnung wie diese kann nur von Denjenigen völlig verstanden werden, welche dieser Classe von Erscheinungen ihre ganze Aufmerksamkeit zuwenden. Es ist hier nicht der Platz, die Fragen zu discutiren, welche auf die Natur der Sonnenflecken Bezug haben. Doch ist es wichtig, eine allgemeine Idee von den Schlüssen zu geben, zu welchen de la Rue und andere Astronomen in dieser Hinsicht gelangt sind.

Es wurde zuerst von Dr. Alexander Wilson zu Glasgow im Jahre 1773 die Ansicht aufgestellt, dass gewisse Erscheinungen anzuzeigen scheinen, dass die Flecken Höhlungen in einer leuchtenden Photosphäre sind, welche die Sonne umgibt. Dawes hat darauf hingewiesen, dass wir oft mit ein und derselben Erscheinung — der Formation eines Sonnenfleckens — nicht weniger als fünf Grade von Helligkeit verbunden sehen: 1) die Fackeln oder hellen Strecken von unregelmässiger Richtung; 2) die gewöhnliche Photosphäre; die leuchtende Umhüllung der Sonne; 3) die Penumbra oder der schattige Theil eines Fleckens; 4) die Ränder der Umbra, und 5) den ganz dunklen centralen Kern. Der Terminus umbra wurde von Dawes eingeführt, um die Gegend eines Fleckens zu bezeichnen, welche in Bezug auf die Dunkelheit zwischen dem Kerne und dem gewöhnlich als Penumbra bezeichneten Theile liegt.

Es war zu erwarten, dass die Photographien der Sonnenoberfläche mit grosser Bestimmtheit diese fünf Grade von Erleuchtung zeigen würden. Und wirklich sind diese so bestimmt auf der Collodiumplatte verzeichnet, dass de la Rue mit zu Hilfenahme des Electrotypverfahrens in den Stand gesetzt wurde, Platten zu erhalten, von welchen eine mässige Anzahl von Copien abgenommen werden kann.

Die zu Kiew erhaltenen Photographien haben die Resultate einiger früherer Beobachter bestätigt und einige neue und wichtige hinzugefügt. Wir lassen diese in möglichst conciser Form folgen:

1) Die Photographien beweisen, dass der mittlere Theil der Sonnenscheibe einen höheren Grad von Helligkeit besitzt als die Ränder.

2) Sie zeigen, dass die umbra eines Fleckens sich näher am Sonnencentrum befindet als die penumbra, d. h. sie liegt in einer tieferen Fläche. Die Sonnenflecken sind also Höhlungen in der Photosphäre.

3) Aus der Prüfung aller Sonnenbilder, auf welchen Fackeln copirt sind, scheint sich der Schluss ziehen zu lassen, dass „die Sonnenfackeln feste oder flüssige Körper von mehr oder weniger grosser Ausdehnung sind, die entweder langsam niedersinken oder in einem gasförmigen Medium im Gleichgewichte schwebend erhalten werden.

Wir müssen noch eine andere wichtige Stelle anführen. — „Die Ansicht, dass die Fackeln Theile der Photosphäre sind, welche sich

Digitized by Google

über die allgemeine Oberfläche erheben, scheint durch die von de la Rue erhaltenen stereoscopischen Bilder von Flecken bestätigt zu werden, auf welchen die Fackeln gleichsam wie erhabene Bergrücken erscheinen, welche die Fackeln ringsumgeben. Indem wir diesen Schluss annehmen, bemerken wir noch, dass die Fackeln oftmals, wenigstens für einige Tage, das gleiche Aussehen behalten, wie wenn der Stoff, aus dem die Fackeln bestehen, die Fähigkeit besässe, einige Zeit hindurch in der Höhe zu schweben."

Aus einem sorgfältigen Studium dieser Sonnenautographien ergibt sich ferner, dass die unteren Theile eines Sonnenfleckens eine niedrigere Temperatur besitzen als die Photosphäre, in welcher er sich bildete. Ob dies, wie einige annehmen, von einer niedrigeren Temperatur des Sonnenkörpers oder von einem aus einer kälteren Gegend kommenden Stoffe herrührt, wie man sich noch allgemeiner vorstellt, muss erst noch festgestellt werden.

Chacornac und Laugier haben Beobachtungen über das Verhalten des einen Flecken umgebenden Stoffes verzeichnet, welche auf die Existenz einer niederwärts gehenden Strömung schliessen lassen, die also eine Strömung von den kälteren Regionen weg ist. Die Fackeln scheinen der grössern Anzahl von Beispielen nach ausser den Flecken zu liegen. Diess lässt auf einen aufsteigenden Strom schliessen, der den heissen Stoff nach auswärts führt. Es müssen desshalb bei der Bildung eines Sonnenflecken wahrscheinlich zwei Strömungen unterschieden werden: und wenn dem so, so haben wir ein Analogon mit unseren irdischen Cyclonen, mit welchen diese Strömungen in manchen anderen Beziehungen Aehnlichkeit haben.

Die Tragweite und die Ausdehnung dieses Systems continuirlicher Beobachtung muss allgemein einleuchten; und es ist eine Genugthuung zu erfahren, dass ein zweiter Heliograph unter de la Rue's Leitung für die Russische Regierung verfertigt wurde, der nun zu Wilna aufgestellt wurde, während zugleich der Director der dortigen Sternwarte, Dr. Sabler, auf de la Rue's Observatorium zu Cranford Unterricht erhalten hat.

Warren de la Rue hat mehrmals bei der astronomischen Societät die Vortheile auseinandergesetzt, welche aus der Anwendung von photographischen Apparaten bei der Beobachtung künftiger Venusdurchgänge hervorgehen. Wir wollen unsere Notiz über die Photographie des Himmels mit den Worten aus der Adresse bei der Uebergabe des Lalande'schen Preises schliessen: „Durch sein eigenes Beispiel, durch die Ertheilung von Unterricht an Andere, die es wünschten, durch fortwährende eigene Beobachtungen war Warren de la Rue unermüdlich für die Förderung der astronomischen Photographie thätig; und es kann für ihn entschieden in Anspruch genommen werden, dass er dadurch, dass er diesen wissenschaftlichen Zweig dem Calcul unterwarf, eine neue Aera in der praktischen Astronomie feststellte."

Digitized by Google

Das Polarisationsprisma.

Von

Hartnack und Prazmowski.

Bereits im ersten Bande des Repertoriums (pag. 325) haben wir unseren Lesern die Notiz bekannt gegeben, welche die Herren Hartnack und Prazmowski über ihr neues Polarisationsprisma der Pariser Academie vorgelegt haben. Wir sind heute im Stande, die uns gütigst eingesandte ausführlichere Abhandlung über diesen Gegenstand (aus den Annales de Chimie et de Physique, 4ª serie, t. VII) im Folgenden mittheilen zu können.

Das Nicol'sche Prisma besitzt vorzügliche Eigenschaften, welche es gewiss zum besten der bisher bekannten Polarisationsapparate machen, sei es, dass man dasselbe als Analyseur oder als Polarisator anwenden will. Da es aus einer vollkommen farblosen Substanz besteht, so lässt es das Licht durch, ohne seine Farbe zu ändern, ohne eine Dispersion seiner Strahlen zu erzeugen und auch ohne es durch die beiden partiellen Reflexionen, die es an den Eintritts- und Austritts-Flächen erleidet, bemerklich zu schwächen.

Ein sorgfältiges Studium des Ganges der Lichtstrahlen in diesem Apparate lässt übrigens einige nicht unbedeutende Missstände an demselben erkennen. Diese Missstände, welche, wie man sogleich sehen wird, uns zu beseitigen gelungen ist, beruhen erstens in der Richtung, nach der man gewöhnlich den Schnitt des Krystalles ausführt, dann in der Natur der bisher zum Vereinigen der beiden Theile angewandten Substanz.

Es ist in der That bekannt, dass das Nicol'sche Prisma nichts anderes ist als ein Parallelepiped von Isländischem Spath, dessen Länge 3,7mal so gross als seine Breite ist (Fig. 1). Dieses Parallelepiped ist entzwei geschnitten nach der Diagonale AB, welche die Spitzen seiner stumpfen Winkel verbindet. Die Schnittflächen sind sorgfältig

Digitized by Google

polirt und dann mit Canadabalsam wieder zusammengekittet. Der Brechungsindex dieses Harzes (1,549) liegt nun in der Mitte zwischen dem ordentlichen Index des Spathes (1,658) und dem Minimum des ausserordentlichen Index (1,483).

Fig. 1.

Da der Grenzwinkel für den ordentlichen Strahl am Canadabalsam 69°,5 ist, so erfährt jeder ordentlich gebrochene Strahl, der unter einem schieferen Winkel eintritt, eine totale Reflexion.

Es sei od der Strahl, welcher schief an der Fläche AC auffällt, so wird dieser bei d eine Brechung erfahren, nach welcher er die Richtung df annimmt. Nehmen wir an, er bilde mit der Schnittfläche AB einen Winkel von 20°,5, so wird dieser Strahl das Gesichtsfeld einschliessen, welches keine ordentlichen Strahlen enthält, da alle diese Strahlen, indem sie unter einem beträchtlicheren Winkel ankommen, an der Balsamschicht eine totale Reflexion erfahren. Es werden so alle zwischen den äussersten Richtungen od und Ae enthaltenen, im Spath ordentlich gebrochenen Strahlen, bei f reflectirt und einen Lichtconus hfg bilden, der an der geschwärzten Fläche CB vernichtet wird. Dagegen werden die ausserordentlichen Strahlen, da ihr Index kleiner als der des Balsams ist, durch die verkittende Substanz hindurch gelassen und sich beim Austritte in den hellen Raum ik ausbreiten. Es ist übrigens nicht die Schnittfläche, welche das Feld an der Seite Ae begrenzt. Der ausserordentliche Strahl schliesst in dem Maasse, als er sich dieser Ebene nähert, mit der Hauptaxe des Krystallsystems des Spathes immer grössere Winkel ein; sein Index nimmt dann, das ist wahr, ab, allein er erreicht nie einen Werth, der klein genug wäre, um unter jeder Incidenz durch die Balsamschicht hindurchzugehen. Bei hinreichend grossen Incidenzen erfährt er bei seinem Durchgange eine totale Reflexion und hier liegt die andere Grenze des Gesichtsfeldes im Prisma. Die Ungleichheit des Dispersionsvermögens im Balsam und im Spathe rückt diese Grenze noch vor und verkleinert so das Gesichtsfeld noch mehr. Wir werden auf diese Frage unten noch zurückkommen.

Da der Index des Canadabalsams sehr wenig kleiner als der des Spathes für den ordentlichen Strahl ist und da der Grenzwinkel für

Digitized by Google

diesen Strahl 69°,5 beträgt, so muss man dem Prisma eine grosse Länge geben; man macht sie, wie oben erwähnt, 3,7mal so gross als die kleine Seite, und die ganze Länge des Prisma wird dargestellt durch die Projection der grossen Diagonale auf die Axe des Prismas, sie ist viermal so gross als die Länge der kleinen Seite.

Um diese Missstände zu beseitigen, hat man verschiedene verkittende Substanzen vorgeschlagen und namentlich den Copahubalsam, dessen Brechungsindex geringer ist, wodurch also das Prisma verkürzt wird. Allein man hat bisher immer für die Schnittfläche des Prismas dieselbe Richtung beibehalten, wodurch die ausserordentlichen Strahlen, bevor sie die Schnittebene erreichten, eine totale Reflexion erfuhren, und wenn so auch das Gesichtsfeld an der Seite der ordentlichen Strahlen an Ausdehnung gewann, so verlor es weit mehr an der Seite der ausserordentlichen Strahlen. Im Ganzen war also die Ausdehnung des Gesichtsfeldes eine geringere.

Man sieht so, dass so lange die Richtung der Schnittfläche in Bezug auf die Axe des Krystalles dieselbe bleibt, es zu nichts führt, wenn man eine andere als die gewöhnlich gebrauchte verkittende Substanz in Anwendung bringt. Bevor wir jedoch bei den Wirkungen dieser Richtung länger verweilen, müssen wir in Betracht ziehen, was sich ergibt aus der Schiefe der Eintritts- und der Austrittsfläche des Prismas in Bezug auf die Axe des Prismas und in Bezug auf die Richtung der Strahlen, welche durch dasselbe hindurchgehen.

Der Anblick der Figur 1 zeigt, dass die Strahlen, welche aus der Luft in den Spath an der Seite A der Grenze des Gesichtsfeldes eintreten, fast normal durch die Seiten AC hindurchgehen, und dass sie sich in dem Maasse als sie sich der anderen Grenze nähern, immer mehr gegen die Eintrittsfläche neigen; dasselbe Phänomen zeigt sich wieder in identischer Weise beim Austritte der Strahlen aus der entgegengesetzten Fläche. Diese progressive Zunahme der Schiefe der einfallenden Strahlen erzeugt eine zunehmende partielle Reflexion und eine entsprechende Abschwächung des durchgelassenen Lichtes, woraus hervorgeht, dass das Gesichtsfeld, das an einem seiner Ränder ungemein hell ist, immer dunkler wird, je mehr man sich dem anderen Rande nähert.

Diese Schiefe der Eintritts- und Austrittsflächen gibt also zu einem anderen, noch schlimmeren Missstand Veranlassung. Der Isländische Spath ist eine sehr subtile Substanz; er bietet dem Optiker,

Digitized by Google

der seinen Flächen eine vollkommen regelmässige Gestalt geben will, grosse Schwierigkeiten dar. Das Poliren verschlimmert immer die Flächen trotz aller Sorgfalt und Geschicklichkeit des Arbeiters, und die geringen Abweichungen, welche sich nicht vermeiden lassen, haben auf die Richtung der durchgelassenen Strahlen einen um so grösseren Einfluss, je beträchtlicher die Einfallswinkel sind.

Und wirklich ist allemal, wenn die Strahlen nach ihrem Durchgange durch das Prisma ein reelles oder virtuelles Bild geben, dieses Bild stets verwaschen oder schlecht begrenzt; allein besonders dann, wenn dieses Bild noch vergrössert werden muss, ziehen die Fehler in der Bearbeitung noch unangenehmere Folgen nach sich.

Diese Betrachtungen haben uns auf den Gedanken geführt, dass man, um die bezeichneten Missstände zu beseitigen, vor Allem den Eintritts- und Austrittsflächen eine zur Axe des Prismas normale Richtung geben muss. Bei dieser Richtung werden die Strahlen, welche durch die Mitte des Gesichtsfeldes hindurchgehen, im Auge des Beobachters ankommen, ohne eine Ablenkung erfahren zu haben; für die Strahlen, welche das Gesichtsfeld begrenzen, führt diese Richtung die Einfallswinkel auf die Hälfte zurück. Unter solchen Umständen würden dann die Wahl eines geeigneteren Schnittes und die Anwendung einer besseren verkittenden Substanz hinreichen, um dem Polarisationsprisma alle gewünschten Eigenschaften zu ertheilen.

Je kleiner der Brechungsindex der verkittenden Substanz ist, um so grösser ist der Grenzwinkel für die totale Reflexion des ordinären Strahles, und um so mehr können die Dimensionen des Prismas reducirt werden. Wenn jedoch sein Index einen Werth hat, der kleiner als das Minimum des ausserordentlichen Index ist, so wird dieser Strahl trotz der geeignetsten Wahl der Schnittfläche auf seinem Wege in einem Theile des Gesichtsfeldes eine totale Reflexion erfahren und so im Durchgange aufgehalten sein. Es wird also wie beim Prisma nach der gewöhnlichen Construction eine Verminderung der Winkelgrösse des Gesichtsfeldes eintreten. Die am meisten entsprechende verkittende Substanz würde die sein, deren Index denselben Werth hätte wie der ausserordentliche Index für den zur Axe senkrechten Schnitt. Das Leinöl, eine Substanz, die hinlänglich leicht trocknet, um sich zu diesem Zwecke zu eignen, besitzt einen Index (1,485), der genau identisch mit dem des Spathes ist; es gestattet also eine geringere Länge wie die ist, welche man wählen muss, wenn man

Digitized by Google

Canadabalsam anwendet, es gestattet gleichzeitig, das grösste Gesichtsfeld von 35 Graden zu erhalten. Das Mohnöl, das einen geringern Index hat, gestattet zwar die Länge des Prismas noch mehr zu reduciren, allein es reducirt auch bei dem gleichen Schnitt das Gesichtsfeld auf 28 Grade.

Wir können uns nun die folgenden Fragen stellen:

1) Welches ist die Richtung, welche man der Schnittebene geben muss, um die geeignetste Grösse für das Gesichtsfeld zu erhalten?

2) Welche Neigung muss man der Eintritts- und Austrittsfläche in Bezug auf diese Ebene geben, um sich zu versichern, dass für die Strahlen, welche der Mitte des Gesichtsfeldes entsprechen, eine normale Incidenz statthabe?

Fig. 2.

Um diese Fragen leicht zu beantworten, ist es passend, den Gang der Strahlen im Innern des Prismas näher zu betrachten. Theilen wir ein Parallelepiped aus Spath in zwei Theile nach der Ebene AB (Fig. 2) senkrecht gegen die Hauptaxe des Krystalles. Die auf AB schiefstehenden Geraden repräsentiren die Grenzwinkel des ordentlichen Strahles für die Substanzen, mit Hilfe deren man die beiden Hälften zusammenkitten kann.

	Index.	Grenzwinkel.
Canadabalsam . .	1,549 . . .	69°,1
Copahubalsam . .	1,507 . . .	65 ,3
Leinöl	1,485 . . .	63 ,6
Mohnöl	1,463 . . .	61 ,9

Für die drei ersteren Substanzen erfährt selbst der ausserordentliche Strahl, welcher die Fläche AB streift, keine Reflexion; es bildet also die Ebene AB die andere Grenze des Gesichtsfeldes. Dem ist nicht so für das Mohnöl: der ausserordentliche Strahl wird schon bei einem Einfallswinkel von 79°,9 reflectirt, wie dies die punktirte Linie in Fig. 2 zeigt.

Die Ausdehnung des Gesichtsfeldes im Innern des Spathes ist nun für die verschiedenen Substanzen die folgende:

Digitized by Google

Canada . . .	$20^0,9$
Copahu . . .	24 ,7
Leinöl . . .	26 ,4
Mohnöl . . .	17 ,0

Die Lage der Eintritts- und Austrittsflächen muss eine solche sein, dass die Strahlen, welche das Gesichtsfeld an beiden Seiten begrenzen, eine gleiche Neigung gegen diese Flächen besitzen, wenn das Gesichtsfeld in Bezug auf die Axe des Prismas symmetrisch gelegen sein soll. Da auf der einen Seite der Strahl die Grenze bildet, welcher beim Durchgange durch die Luft nach dem ordentlichen Index gebrochen wird, während er auf der anderen Seite eine Brechung nach dem ausserordentlichen Index erfährt, so würden die Eintritts- und Austritts-Flächen nicht senkrecht auf der Geraden stehen, welche das Gesichtsfeld im Innern des Prismas halbirt. Diese Flächen würden auf der Seite des ordentlichen Strahles eine geringere Neigung besitzen als auf der entgegengesetzten Seite.

Bei der Berechnung dieser Neigung kommt eine Betrachtung vor, welche zu bezeichnen wir nicht unterlassen dürfen, nämlich die, dass das Dispersionsvermögen des Spathes für den ausserordentlichen Strahl grösser ist als das der fetten Oele und dass ihre bezüglichen Indices vom Roth nach dem Violett hin abnehmen. In der Nähe der Grenze des Gesichtsfeldes gehen die blauen und violetten Strahlen noch durch die Oelschicht hindurch, während die rothen Strahlen schon aufgehalten sind. Die Grenze des Gesichtsfeldes bildet an dieser Seite ein violetter Streifen, der breit genug ist, um es auf eine gewisse Ausdehnung hin dunkler zu machen. Es ist also nöthig, einen grösseren Theil des Gesichtsfeldes auf dieser Seite nicht zu benützen und nur den Theil zu gebrauchen, der am gleichförmigsten erleuchtet ist.

Dies ist der Grund, warum wir bei den folgenden Winkeln stehen geblieben sind, indem wir annehmen, dass der Schnitt des Krystalles senkrecht zur Hauptaxe des Spathes ausgeführt wird, was nach dem Vorhergehenden das absolute Maximum für die Winkelausdehnung des Gesichtsfeldes bei den verkittenden Substanzen gibt, deren Index sich dem ausserordentlichen Index des Spathes in der zur Krystallaxe normalen Ebene mehr nähert.

Digitized by Google

	Winkel der Eintritts- u. Austrittsflächen gegen die Schnittebene.	Winkelgrösse des Gesichtsfeldes.	Länge des Prismas.
Canada	79°,0 . . .	33° . . .	5°,2
Copahu	76 ,5 . . .	35 . . .	3 ,7
Leinöl	73 ,5 . . .	35 . . .	3 ,4
Mohnöl	71 ,0 . . .	28 . . .	3 ,0

Vergessen wir nicht, dass die wirkliche Länge unseres Prismas die ist, welche es an den Instrumenten einnimmt. Da die Länge der grössten Kante des Nicol'schen Prismas nur 3,7 ist, wenn man die der kleinen Kante als Einheit nimmt, so bewirken die spitzen Winkel dieses Prismas, dass es eine Länge einnimmt, welche viermal so gross als die der kleinen Seite ist.

Die Figur 3 zeigt unser Prisma *ABCD* mit seinem Schnitte *AC* nach einer zur Axe des Krystalles senkrechten Ebene, geschnitten aus einem Parallelepiped *abcd*. Diese Construction erfordert ein grösseres Stück Spath als die gewöhnliche Construction. Dasselbe Stück Spath würde gleichwohl nur ein Nicol'sches Prisma *efgh* von einer dem unsrigen nahe gleichen Dicke geben, dessen Länge aber um mehr als ein Drittel grösser als bei letzterem ist, und das ein um ein Drittel kleineres Gesichtsfeld hat.

Fig. 3.

Namentlich als Analyseur hat das neue Prisma vor dem alten grosse Vorzüge. Es lässt sich z. B. sehr bequem zwischen das Auge und das Ocular eines Microscopes bringen, ohne etwas vom Gesichtsfelde wegzunehmen, während das Nicol'sche Prisma nicht blos direct das Gesichtsfeld beträchtlich verkleinert, sondern auch den Beobachter verhindert, sein Auge dem Kreuzungspunkte der Strahlen hinreichend zu nähern, was unumgänglich nöthig ist, wenn man das ganze Gesichtsfeld mit einem Blicke übersehen will.

Digitized by Google

Kleiner Gruben-Theodolit

construirt von

G. Breithaupt,

Inhaber des mech. math. Instituts von F. W. Breithaupt & Sohn in Cassel.

(Hiezu Tafel XXXI.)

Von den Herren Markscheidern und Berg-Ingenieuren ist uns wiederholt der Wunsch ausgesprochen, einen leichten kleinen Gruben-Theodoliten zu besitzen, der bei möglichst geringen Dimensionen doch noch für bergmännische Messungen hinreichend genaue Resultate gibt.

Wir glauben diesem Wunsche vollkommen entsprochen zu haben durch die Construction des kleinen Gruben-Theodoliten, dessen Abbildung in halber Grösse Taf. XXXI gibt. Ueber die Einrichtung etc. desselben erlauben wir uns in Nachstehendem das Wesentlichste anzuführen.

Der Theodolit ist mit Repetitions-Einrichtung versehen, lässt sich, da er eine Steckhülse besitzt, aus seiner Nuss herausnehmen und so in einer vor den Leib geschnallten Tasche bequem transportiren, während die Nuss auf dem Stativ bleiben kann.

Der Horizontalkreis hat 3 Zoll (= 6,5 Centimeter) Durchmesser, die Ablesung geschieht an zwei Nonien, welche einzelne Minuten angeben, und demnach sechsmal grössere Genauigkeit als das Markscheider-Instrument gewähren.

Der Verticalkreis besitzt denselben Durchmesser und die doppelten Nonien seiner Alhidade dieselbe Angabe. Das 6 Zoll (= 13 Centimeter) lange achromatische Fernrohr liegt excentrisch, lässt sich durchschlagen und gestattet somit, Neigungswinkel bis zu 90 Grad zu messen.

Das Fadenkreuz wurde durch ein Glasplättchen, auf welchem das Kreuz eingerissen, ersetzt; dadurch sind alle die sonst so oft beklagten nachtheiligen hygroscopischen etc. Einflüsse gründlich beseitigt.

Auf dem Fernrohre sitzt eine Cylinder-Libelle, welche es möglich macht, das Instrument zum Nivelliren zu gebrauchen, indem nach

Digitized by Google

bewirkter genauer Justirung durch Einstellung der Nonien des Verticalkreises auf *O* und Klemmen des Micrometerwerkes die optische Axe des Fernrohres parallel dem Horizont gestellt wird.

Der Compass hat eine $2^3/_4$ zöllige (5,5 Centimeter lange) Nadel und sitzt in einem Napfe, in welchem er drehbar ist, — letzteres, um denselben nach einer beliebigen magnetischen Declination stellen zu können. Auch lässt sich der Compass herausnehmen, falls damit zugelegt werden soll.

Die Dosen-Libelle befindet sich unter dem Compass; der Boden des letzteren ist durchbrochen, um die Blase der Libelle beobachten zu können.

Zum Horizontalstellen des Theodoliten dient eine Nuss mit vier Stellschrauben; dieselbe schraubt sich auf den messingenen Kopf des Stativs.

Statt der Nuss kann auch ein kleiner Dreifuss angewandt werden, falls wegen des leichteren Einlothens über einem Fixpunkt das Instrument zum Verschieben auf dem Stativkopf gewünscht wird. Der Stativkopf würde dann aus einer runden messingenen oder hölzernen Scheibe bestehen.

Die Axensysteme des Horizontal- und Verticalkreises sind sehr lang und verbürgen deshalb eine sehr sichere Bewegung. Diese, sowie der gedrungene Bau erfordern wenig und einfache Correction und in dem Falle gar keine, wenn die Winkel in den zwei Lagen des Fernrohres gemessen werden, wodurch sich bekannterweise alle Fehler compensiren lassen.

Das Gewicht des Theodoliten ohne Stativ beträgt etwa 5 Pfund.

Auch bei diesem kleinen Instrument möchte die Anwendung von zwei Stativen mit entsprechenden Signalen zu empfehlen sein, über deren Vortheil sich in unserem IV. Heft des Magazins etc. pag. 21 näher ausgesprochen ist. Wir lassen hier eine kurze Beschreibung dieser Signale folgen.

Die Signale (Fig. 2 vordere Ansicht, Fig. 3 Seitenansicht) bestehen aus dem Zapfen *a*, der Dosenlibelle *b* zum Horizontalstellen des messingenen Tableau's *c* und dem Visirröhrchen *d*. Wenn das Signal mit seinem Zapfen *a* in die Nuss eingesetzt ist, hat die obere Kante *c* des Tableau's gleiche Höhe mit der Drehungs-Axe des Fernrohres, und die Stirnkanten c'' c''' haben denselben Abstand von der Mitte des Zapfens *a* wie die optische Axe des Fernrohrs von der des Horizontal-

Digitized by Google

kreises. Beim Anvisiren der Tableaukanten werden dieselben daher (wie durch punktirte Linien angedeutet) in die Mitte des Kreuzes vom Fernrohr gefasst.

Das Visirröhrchen *d* dient dazu, um damit bei der Aufstellung des Signals den Theodoliten anzuvisiren, wodurch sich das Tableau rechtwinklich zum Instrument einrichtet.

Dass dieser kleine Theodolit auch zu Winkelmessungen über Tage, so weit eben das Fernrohr trägt, mit Sicherheit gebraucht werden kann, bedarf kaum der Erwähnung. Ebenso empfiehlt sich derselbe als ein zweckmässiges Reise-Instrument.

---

1) Der Preis des Theodoliten mit Repetitions- und Nivellir-Einrichtung, Compass, Steckhülse und Ringklemme, Stativ mit Messingkopf und Tasche mit Lederüberzug oder Kästchen von Mahagoniholz beträgt zusammen . . . . . 84 Thaler.
2) Fällt die Repetition hinweg, so ermässigt sich der Preis um . . . . . 15 Thaler = 69 „
3) Desgleichen die Steckhülse und Ring-Klemme . . . . . 8 „ = 61 „
4) Desgleichen die Nivellir-Einrichtung . 10 „ = 51 „
5) Zwei Signale wie oben beschrieben, mit zwei Stellschraubennüssen und zwei Stativen . . . . . 34 „
6) Wird ein Bein des Stativs zum Zweck des Verschiebens bezw. Verkürzen von messingenen Röhren gefertigt, so kostet ein solches Bein mehr . . . . . 5 „
7) Es können auch sämmtliche Beine zum Verschieben eingerichtet werden, wenn es der sehr niedrigen Grubengänge oder des bequemen Transports wegen gewünscht wird.

Digitized by Google

Der Hansen'sche Contactapparat.

(Hiezu Tafel XXXII.)

Herr Professor Hansen gibt in seinem Berichte über die Bestimmung des Längenunterschiedes zwischen den Sternwarten zu Gotha und Leipzig, unter seiner Mitwirkung ausgeführt von Dr. Auwers und Prof. Bruhns im April des Jahres 1865 (Abhandlungen der mathematisch-physischen Classe der kgl. sächsischen Gesellschaft der Wissenschaften p. 234 ff.) die folgende Beschreibung des von ihm construirten neuen Contactapparates:

Während die beiden Registrirapparate, die die hiesige (Gothaer) Sterwarte besitzt, nämlich der von Siemens und Halske im Meridianzimmer, und ein zweiter von Ausfeld mit Centrifugalpendel im Thurme bei dem Repsold'schen Aequatoreal die gewünschten Dienste leisteten und noch fortwährend leisten, war dieses bei den angewandten Contactvorrichtungen in den Uhren nicht der Fall. Ich habe die verschiedensten Einrichtungen dieser Art angewandt, bin aber nie befriedigt worden; die Uebelstände, von welchen ich mich gern unabhängig machen wollte, bestanden hauptsächlich darin, dass die Apparate eine häufige Reinigung verlangten, bei welcher oftmals die Uhr angehalten werden musste, dass sie auf den Gang der Uhr Einfluss übten, oder derselben einen wesentlichen Theil der Kraft raubten. Von dem letzten Uebelstande ist freilich der sinnreiche Krille'sche Contactapparat, den ich auch versucht habe, frei, aber die Bedingungen, an die dieser Apparat gebunden ist, sind in so enge Grenzen eingeschlossen, dass sie leicht im Laufe der Zeit dieselben überschreiten und mangelhafte Wirkung oder gar das Stillestehen der Uhr im Gefolge haben. Von mehreren Astronomen, die diesen Contactapparat auf ihren Sternwarten eingeführt haben, habe ich die Mittheilung erhalten, dass es ihnen sehr viele Mühe und Zeit gekostet hat, um demselben eine gewünschte und länger andauernde Wirksamkeit zu ertheilen.

Digitized by Google

Durch diese Erfahrungen und Mittheilungen veranlasst, kam ich endlich auf den Gedanken, die Arbeit des Schliessens und Oeffnens der galvanischen Kette der Uhr gänzlich abzunehmen und einem besonderen Räderwerke zuzutheilen, welches seine eigene Triebkraft (Gewicht) besitzt und nur von der Uhr ausgelöst zu werden braucht. Das Auslösen dieses Werkes kann, wie man weiter unten sehen wird, so eingerichtet werden, dass es der Uhr nicht die mindeste Kraft raubt, ja man könnte es sogar so einrichten, dass es mit dazu beitrüge, dem Pendel, gleichwie das Uhrwerk selbst, die bei jeder Oscillation verlorene Kraft zu ergänzen.

Dieser Contactapparat befindet sich nun schon länger wie $1^1/_2$ Jahre in der hiesigen Tiede'schen Normaluhr, hat von Anfang an bis jetzt die vollkommenste Dienste geleistet und wird sie lange noch, ohne einer Nachhülfe zu bedürfen, leisten können. Er hat in dem genannten Zeitraum nur ein einziges Mal einer Reinigung bedurft, und dieses trat, wie man weiter unten sehen wird, während der Längenbestimmung ein. Die Reinigung ist, wenn sie erforderlich wird, sehr leicht zu bewerkstelligen, man braucht nur einen Streifen Schmirgelpapier, ein Mal die Schmirgelseite nach unten und ein Mal dieselbe nach oben gewendet, zwischen den beiden Iridiumblättchen, welche den Contact bilden, durchzuziehen, während man mit dem Zeigefinger der anderen Hand leise auf den Arm drückt, an welchem das obere Iridiumplättchen angelöthet ist. Seit jener Zeit bis jetzt ist keine zweite Reinigung erforderlich gewesen.

Auf der Figurentafel XXXII sind die Theile, aus welchen dieser Contactapparat besteht, in natürlicher Grösse abgebildet.

Fig. 1 zeigt die hintere Platte *a a*.. des Contactwerks von vorne gesehen. Diese Platte liegt in Einer Ebene mit der hinteren Platte des Uhrwerks und befindet sich oberhalb dieser, der bogenförmige Ausschnitt ist deshalb angebracht, weil die obere Kante der Uhrplatte diese Form hat. Sie ist vermittelst zweier Barren und vier Schrauben an der Uhrplatte befestigt, die aber in der Zeichnung nicht mit aufgenommen worden sind, da sie jeder leicht ergänzen kann. Beide Werke sind auf diese Art fest mit einander verbunden. *A* ist das erste oder das Walzrad, mit 120 Zähnen, *A'* die Walze, die die Schnur (Darmsaite) aufnimmt, wovon *s* ein Stück bezeichnet. Mit dieser Schnur ist durch das Zwischenmittel einer Rolle auf gewöhnliche Art das Gewicht verbunden. Das Walzrad trägt noch das Gesperr und die Hülfsfeder nebst der

Digitized by Google

Stellung, die in der Zeichnung nicht aufgenommen worden sind, da sie auf bekannte Art eingerichtet werden können. Das Walzrad *A* greift in das Getriebe *b* von 10 Zähnen, das an diesem befestigte Rad *B* von 100 Zähnen in das Getriebe *c* von 10 Zähnen, das an diesem befestigte Rad *C* von 90 Zähnen in das Getriebe *d* von 10 Zähnen, und endlich das an diesem befestigte Rad *D* von 80 Zähnen in das Getriebe *e* von 10 Zähnen. In Folge dessen macht das Getriebe *e* 8640 Umläufe, während das Walzrad *A* Einen Umlauf vollbringt, und da, wie man weiter unten sehen wird, das Getriebe *e* in vier Zeitsecunden Einen Umlauf macht, so wird das Walzrad *A* in 9^h 36^m Einen Umlauf und im Zeitraum einer Woche $17^1/_2$ Umläufe machen. Die Walze *A'* ist indess mit 23 Gängen versehen, damit das Contactwerk, gleichwie die Uhr, ohngefähr 9 Tage in Einem Aufzuge gehen könne. An der Welle des Getriebes *e*, am hinteren Ende derselben, befindet sich, gedrange aufgesteckt, der kleine Cylinder *e* Fig. 4 mit 4 Zähnen, und zwischen diesem und dem Getriebe selbst der Windfang *ff*, Fig. 1, welcher wie in den Schlagwerken durch eine Feder angedrückt wird. Innerhalb der beiden Platten des Contactwerks, und zwar nahe an der hinteren Platte, befindet sich ausserdem der Arm *gg*, welcher mit der um zwei sehr dünne Zapfen drehbaren Frictionsrolle *h* und der Lamelle *i* versehen ist. Der Arm *gg* sitzt auf einer Welle, deren zwei Zapfen, gleichwie die der Getriebe, ihre Löcher in den beiden Platten des Contactwerks haben, und ist in geringer Ausdehnung um diese drehbar. Die Fig. 4 zeigt, dass die Frictionsrolle *h* mit den 4 Zähnen des Cylinders *e* in Berührung kommt, der Arm *gg* wird also während Eines Umlaufes des Getriebes und des Cylinders *e* vier Mal ein wenig gehoben, und wird sich, wenn der Cylinder *e* eine andere Stellung einnimmt, wie die in der Fig. 4 gezeichnete, durch seine Schwere ein wenig senken. Wie durch dieses Heben und Senken des Arms *gg* die galvanische Kette geöffnet und geschlossen wird, zeigt die Fig. 5, die die betreffenden Theile des Contactwerks darstellt. Sie gibt die Ansicht dieser Theile, so wie sie sich dem Auge darbieten, wenn man sich rechter Hand an der Uhr hinstellt. *aa* ist also die hintere, *a'a'* die vordere Platte des Contactwerks, *pp* sind die beiden Pfeiler, die in der Fig. 1 eben so bezeichnet sind. *g* ist der Arm *gg* vom rechten Ende desselben gesehen, *i* die daran befestigte Lamelle, an deren äusserem Ende unten ein Plättchen Iridium angelöthet ist. An der Platte *aa* ist der isolirte Messingwürfel *k* angeschraubt, dessen Isolirung durch

Digitized by Google

die beiden Elfenbeinplatten *ll*, nebst einem durch die Platte gehenden Elfenbeinrohr, welches in der Zeichnung nicht mit aufgenommen werden konnte, bewirkt ist. Durch den Würfel *k* geht die Schraube *m*, an deren oberem Ende auch ein Plättchen Iridium angelöthet ist. Diese Schraube ist so gestellt, dass zwischen den beiden Iridiumplättchen ein kleiner Zwischenraum statt findet, wenn der Cylinder *e* die Stellung hat, die die Fig. 4 zeigt, in Folge dessen der Arm *gg* sich auf seinem höchsten Punkt befindet. Wenn während der Bewegung die Zähne des Cylinders *e* eine andere Stellung einnehmen und in Folge dessen der Arm *gg* sich senkt, dann treten die beiden Iridiumplättchen mit einander in Berührung, die so lange dauert, bis der nächste Zahn des Cylinders *e* die Stellung der Fig. 4 hat. Während jedes Umlaufes des Getriebes *e* der Fig. 1 werden also in vier Zeiträumen die beiden Iridiumplättchen in Berührung, und während den Zwischenzeiten von einander getrennt sein. Befestigt man daher vermittelst der Schraube *n* den einen Leitungsdraht einer galvanischen Batterie an den Würfel *k*, und den anderen an irgend einem anderen Theil der Uhr, so wird während Eines Umlaufes des Getriebes *e* der galvanische Strom vier Mal geschlossen und vier Mal geöffnet werden; ist in die galvanische Kette ein Registrirapparat eingeschaltet, so wird der Uhrmagnet desselben in diesem Zeitraume vier Zeichen geben.

Die Figur 2 stellt das Contactwerk von oben gesehen dar, und wird in Folge des Vorhergehenden und weil dieselben Buchstaben angewandt worden sind, schon fast vollständig verstanden werden. Vor Allem bemerke ich, dass in Fig. 1 die Grösse der Räder zwar so genau wie möglich, aber sowohl dort wie in Fig. 2 die Grösse der Getriebe nur annähernd angegeben ist, deren Grössen daher bei der Anfertigung eines solchen Apparats auf gewöhnliche Weise bestimmt werden müssen. Auch habe ich in Fig. 2 der leichteren Zeichnung wegen die Wellen der Getriebe blos durch einfache Linien angegeben. Hinzuzufügen ist noch, dass an *A''* sich der Aufziehzapfen befindet, der in der linken, oberen Ecke des Zifferblatts der Uhr zum Vorschein kommt, so wie dass *F*, *G*, *H* Stege, und *qq* ein Arm sind, die in der Fig. 3 sich wiederholen.

Es ist nun die Verbindung des Contactwerks mit dem Uhrwerk zu erklären, und hiezu dient die Fig. 3. Sie stellt die vordere Platte des Contactwerks und einen Theil der Platten des Uhrwerks dar. *a'a'*... ist jene Platte, und unter *K* muss man den verticalen Durchschnitt des

Digitized by Google

Uhrwerks in der Ebene von $a'a'$... verstehen. Die Stege F und G, die die vorderen Zapfen der Getriebe b, c, d aufnehmen, liegen flach auf, aber die Brücke H, die den vorderen Zapfen des Getriebes e aufnimmt, ist mit einem Knie versehen, um Platz für den Arm qq zu gewinnen, wie aus der Fig. 2 zu ersehen ist, wo aber, um Undeutlichkeit zu vermeiden, von der Brücke H nur der untere Theil (gleichsam ein Durchschnitt) angegeben werden konnte.

In der Verticalebene des Arms qq befindet sich der Anker $rruvw$, welcher an der Welle des Graham'schen Ankers der Uhr, und zwar innerhalb der beiden Uhrplatten befestigt ist. Die beiden Paletten rr dieses Ankers sind aus glashartem Stahl verfertigt und bilden kreiscylindrische Flächen aus dem Mittelpunkt t oder dem Drehungspunkt der Ankerwelle. Insofern gleicht dieser Anker dem Graham'schen, er unterscheidet sich aber von diesem dadurch, dass er keine Hebeflächen besitzt. Vermöge des mit der Schnur s verbundenen Gewichts wird nun stets das eine Ende des Arms qq sich an die eine der Paletten anzulegen bestreben, und bei jeder Oscillation des Secundenpendels der Uhr wird hierin, eben so wie beim Steigrad und dem Graham'schen Anker ein Wechsel eintreten, nur wird hier in jeder Secunde der Arm qq einen Bogen oder Winkel von 90^0 beschreiben. In den Zeitmomenten, in welchen der Arm an einer der beiden Paletten anliegt, hat der Cylinder e die Stellung, die in der Fig. 4 angegeben ist, und die galvanische Kette ist geöffnet; so wie aber der Arm von der linken Palette abfällt und sich zur rechten Palette hinbewegt, schliesst sich die Kette und der Registrirapparat gibt das Uhrzeichen. So wie der Arm die andere Palette erreicht hat, ist die Stellung der Fig. 4 wieder erreicht und die Kette wieder geöffnet.[1]) Wenn der Arm q von der Palette rechter Hand abfällt, so wird das andere Ende desselben an die Palette linker Hand anfallen und die Kette wieder geschlossen und geöffnet werden, u. s. f. Es wird also der Registrirapparat in jeder Secunde ein Zeichen geben, und dieses wird mit dem Pendelschlage zugleich eintreffen. Um zu verhindern, dass der Arm qq sich zu schnell bewege, wodurch ein allzu kurzer Schluss der Kette entstehen würde, dient der Windfang ff Fig. 1, und dieser übt noch

[1]) Die vortheilhafteste Anordnung ist die, dass man dem Cylinder e eine solche Stellung gibt, dass der bez. Zahn desselben die grade Linie, die durch die Mittelpunkte von e und h geht, eben passirt hat, wenn der Arm qq auf einer der beiden Paletten des Ankers anliegt.

Digitized by Google

eine zweite Function aus, indem er bewirkt, dass der Arm qq beim Anfallen an die Palette nicht zurückprallt, wodurch ein zweiter Schluss der Kette entstehen könnte, sondern ruhig liegen bleibt. Es ist zu bemerken, dass sowohl der Windfang ff, wie der Arm qq, jeder für sich, genau äquilibrirt werden müssen.

Es ist die Einrichtung des Ankers noch näher zu beschreiben. Der Arm v desselben, an welchem sich oben ein kreisförmiger Theil befindet, ist unveränderlich an der Ankerwelle befestigt, während jede Palette für sich, nebst dem Arm, woran sie befestigt ist und bez. dem Arm u und w um einen kleinen Bogen drehbar ist. Diese Drehung wird bewirkt und gehemmt durch die Zugschraube x und die Druckschraube y. Vermittelst dieser Einrichtung wird der Anker beim Aufstellen des Apparats ein für alle Mal so corrigirt, dass das Anfallen des Ankers des Uhrmagneten des Registrirapparats genau mit dem Pendelschlage der Uhr zusammenfällt. Für die annähernde Berichtigung kann man das Gehör anwenden, die genaue Ausführung derselben erkennt man daran, dass auf dem Papierstreifen jede Secunde gleiche Länge hat. Um die letzt genannte Bedingung zu erfüllen, ist übrigens nicht nur die richtige Stellung des neuen Ankers in Bezug auf den Graham'schen Anker erforderlich, sondern es muss auch die Uhr richtig ins Echappement gestellt sein, denn auch von der Erfüllung dieser Bedingung hängt die Gleichförmigkeit der Secundenlänge auf dem Papierstreifen ab. Ich habe gefunden, dass man durch dieses Mittel auch die letzt genannte Bedingung viel genauer herstellen kann wie durch das Gehör, dessen man sich sonst ausschliesslich dazu bediente.

Die Fig. 6 endlich zeigt die Construction des neuen Ankers. Sei wieder e der Drehungspunkt des Getriebes e, und t der Drehungspunkt der Ankerwelle der Uhr, man halbire die Linie et in γ, beschreibe von diesem Punkt aus mit dem Halbmesser γe oder γt den Kreis $t\alpha e\alpha' t$ und ziehe die Senkrechte $\alpha\gamma\alpha'$ auf $e\gamma t$, dann sind die Durchschnittspunkte α und α' des Kreises und der Senkrechten die Berührungspunkte des Arms qq mit den Paletten rr. Die halbe Länge des Arms qq ist $= \alpha e$, und der Halbmesser der Berührungsflächen der Paletten ist $= \alpha t$. Diese Construction erfüllt die zwei hier erforderlichen Bedingungen, nämlich 1) dass der Arm qq bei jeder Bewegung einen Bogen von 90^0 beschreibt, und 2) dass die beiden an den Berührungspunkten an den Kreis $\beta\beta'\beta''$ gezogenen Tangenten durch den Punkt e gehen.

Man erkennt aus dieser Beschreibung, dass der Arm qq einen

Digitized by Google

gewissen Druck auf die Palette des Ankers ausübt und folglich in aller Strenge betrachtet dem Pendel etwas von der bewegenden Kraft raubt, aber dieser Druck ist so geringe, dass daraus gar keine merkliche Wirkung entsteht. Das Gewicht, welches das Contactwerk treibt, ist bis auf sehr weniges eben so schwer wie das Gewicht, welches das Uhrwerk treibt; der Durchmesser der Walze des Contactwerks verhält sich zum Durchmesser der Walze des Uhrwerks nahe wie 2 : 3, der Arm *qq* vollendet seinen Umlauf in 4, und das Steigrad den seinigen in 60 Zeitsecunden, da ausserdem die Länge des Arms *qq* nahe dem Durchmesser des Steigrades gleich ist, so folgt hieraus, dass der Druck des Arms *qq* auf die Paletten *rr* nahe 23 Mal kleiner ist wie der Druck der Zähne des Steigrades auf die Paletten des Graham'schen Ankers, und dieser geringe Druck ist gänzlich bedeutungslos. Wenn er irgend wie merklich wäre, so müsste sich dieses durch eine Verminderung der Amplitude des Pendels zu erkennen geben, aber die angestellten Versuche zeigen in dieser nicht die mindeste Aenderung, es mag das Contactwerk in oder ausser Thätigkeit sein. Es gibt übrigens ein Mittel, die hemmende Wirkung dieses Drucks strenge Null zu machen, und dieses besteht darin, dass man den Paletten des neuen Ankers nicht die kreiscylindrische Form gibt, sondern sie so ausführt, dass der Halbmesser derselben im Sinne der Bewegung stetig kleiner wird. Wenn diese Verminderung gross ist, so nimmt der Anker den Charakter des Ankers der sogenannten zurückfallenden Hemmung an, die fast immer in den gewöhnlichen Pendeluhren angebracht wird, und kann für sich allein das Pendel in Bewegung erhalten. Der hemmende Druck kann also durch dieses Mittel in eine die Bewegung des Pendels befördernde Kraft verwandelt werden, und folglich gibt es eine gewisse geringe Verminderung der Halbmesser der Paletten, die die Wirkung des Drucks des Arms *qq* auf dieselben in Bezug auf die Bewegung des Pendels strenge Null macht. Aber in Anbetracht des so sehr geringen vorhandenen Druckes halte ich die Anwendung dieses Kunstgriffes für überflüssig, und die Anwendung von kreiscylindrischen Paletten für ganz unschädlich.

Ich kann noch erwähnen, dass die Grösse und Anordnung der einzelnen Theile dieses Contactwerks so bestimmt wurden, dass es im Uhrgehäuse, ohne daran etwas zu ändern, Platz fand.

Digitized by Google

Mittheilungen

von

R. Radau in Paris.

Zu dem Aufsatz über die persönlichen Gleichungen.

In dem Separatabdruck, welcher von diesem Aufsatz erschienen ist, habe ich die Stelle (Seite 208 des I. Bandes) wo von der Enke'schen Erklärung der starken Personalgleichung Bessel's die Rede ist, in dem Sinne modificirt, dass diese Erklärung durch die von Wolf mitgetheilten Thatsachen sehr an Wahrscheinlichkeit gewinnt (vergl. Seite 138 des II. Bandes).

Druckfehler: Bd. II, Seite 155, Zeile 11 von unten. — Statt: völlig unempfindlich, lies: ganz ungewöhnlich empfindlich.

Zusätze zu dem Aufsatz über Heliostaten von R. Radau.

Es ist sehr leicht, sich das Princip der Construction aller Heliostaten an einem einfachen Modell klar zu machen, wie ich mir ein solches kürzlich habe anfertigen lassen. Nehmen wir an, die Papierebene (Fig. 1 auf folgender Seite) sei die Einfallsebene der Sonnenstrahlen, und folglich senkrecht zu der Spiegelebene. MG ist die Richtung des einfallenden, FM die des reflectirten Strahls, MN die Spiegelnormale, SS' der Durchschnitt des Spiegels mit der Einfallsebene, MR der zu SS' senkrechte Schnitt des Spiegels. Sei ferner $FM = MG$, und NS parallel zu MG, NS' parallel zu FM. Die Entfernungen des Punktes F von N, S und M, und des Punktes G von N, S' und M, sind dann offenbar gleich gross, und wir haben in der Figur fünf gleichschenklige Dreiecke. Stellen wir nun den Spiegel durch eine Holzplatte vor, in welcher ein starker Draht SS' so eingelegt ist, dass er auf beiden Seiten über den Rand der Platte hinausragt; befestigen wir einen

Digitized by Google

zweiten Draht MN senkrecht auf der Platte, und einen Stift MR am Rande der Platte senkrecht zu SS', so haben wir den Spiegel mit seiner Normale und zwei unter einander senkrechten Schnitten, von denen der eine die Einfallsebene vorstellt. Nehmen wir nun zwei gleich lange Stäbe NS und NS', an deren Enden bewegliche Ringe oder Oesen angebracht sind, so dass ein Ende auf der Stange SS' und das andere auf der Normale MN gleiten kann, und dass ausserdem die Enden N immer zusammenbleiben. Die

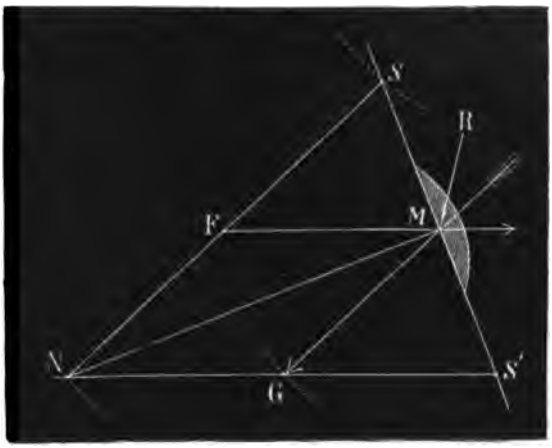


Fig. 1.

Mittelpunkte F und G bewegen sich dann offenbar auf einem Kreise, dessen Mittelpunkt M und dessen Radius gleich der halben Länge von NS ist. Man kann nun die Strahlen FM und MG durch zwei Gabeln vorstellen, deren Stiele in F und G drehen, während die Zinken den Stift MR umspannen. Das Modell ist dann vollständig. Die Bedingung, welche der Heliostat erfüllen muss, besteht darin, dass der Mittelpunkt M fest bleibt und dass der reflectirte Strahl FM ebenfalls unbeweglich wird. Man befestigt also die Stange FM so, dass der freie Stiel in einer cylindrischen Höhlung ruht, in welcher er sich drehen kann. Auf diese Weise ist die Richtung des reflectirten Strahls unveränderlich festgelegt, und das gabelförmige Ende von FM trägt den Spiegel, der sich um die beiden zu einander senkrechten Axen MR und FM drehen kann.

Dies Modell zeigt, dass sich eine Menge Heliostaten ausführen lassen, die alle den Strahlen eine beliebige Richtung geben. Lässt man den Spiegel von zwei Gabeln FM und GM tragen, deren eine fest, die andere GM durch ein Aequatorial-Uhrwerk beweglich ist, so hat man den Heliostaten von Th. Silbermann. Benützt man eine feste Gabel FM und eine Leitstange MS, so kommt man auf den Heliostaten von Gambey (oder von Arago); die Stange MS wird in diesem Falle durch einen Zeiger FS herumgeführt, der auf einem Uhrwerk sitzt. Statt der Leitstange MS könnte man ebensogut die

Digitized by Google

Normale MN benutzen, die dann auf dem Zeiger FN gleitet. Die Stangen NS oder GM müssen immer parallel zu den einfallenden Sonnenstrahlen bleiben. Die Hauptbedingung ist, dass die Spiegelnormale beständig den Winkel FMG halbirt; man erfüllt dieselbe offenbar durch die verschiedensten Combinationen der in der Figur angedeuteten Linien, zu welchen man noch die Diagonalen GS und FS', sowie den Kreis, welchen F und G um M beschreiben, hinzufügen kann.

Will man nun statt der natürlichen Drehungsaxen MR und FM dem Spiegel ein anderes System von Axen geben, z. B. eine horizontale und eine vertikale Axe, so entsteht eine Schwierigkeit. Während nämlich im bisher betrachteten Falle die Schnittlinie SS' mit der Drehungsaxe MR des Spiegels einen constanten Winkel bildete, so ändert sich jetzt der Winkel zwischen SS' und der neuangenommenen Drehungsaxe fortwährend, weil die Spiegelebene sich um ihre Normale MN auf andere Weise orientirt. Mit andern Worten, die Einfallsebene SS' wandert auf der Spiegelebene. Wenn daher der Spiegel nicht kreisförmig, sondern länglich ist, so kann man die Längendimension nicht mehr, wie bisher, in der Einfallsebene erhalten, um das reflectirte Lichtbündel breiter zu machen. Will man dies dennoch erreichen, so muss die Spiegelebene auf der Linie SS' gleiten, wie es bei dem von Foucault verbesserten S' Gravesande'schen Apparat der Fall ist. Der S' Gravesande'sche Spiegel hat eine horizontale Axe, die auf einer verticalen Gabel ruht; der Spiegel wird durch die Normale MN bewegt, die auf dem Zeiger FN gleitet, dessen Länge $= FM$ sein muss. Um nun die Längendimension des achteckigen Spiegels in der Einfallsebene zu behalten, befestigt Foucault die Spiegelebene an der Normale MN und der Leitstange MS, die beide auf einem Sonnenzeiger NS gleiten, der um F einen Kegel beschreibt. Die Normale durchbohrt eine Platte, welche auf der verticalen Gabel dreht, und auf der die Spiegelebene frei gleiten kann. Dasselbe Princip lässt sich beim Silbermann'schen Heliostaten anwenden.

Um nun auf die besonderen Lösungen des Problems zu kommen, so denke man sich: 1° dass der reflectirte Strahl dieselbe Declination wie die Sonne hat; dann fällt der Punkt M in den vom Punkte S beschriebenen Parallelkreis, die Gerade MS wird eine Sehne dieses Kreises und dreht sich in der Aequatorebene um den Punkt M, mit einer Geschwindigkeit, die halb so gross als die der Sonne ist, d. h.

Digitized by Google

also entsprechend einer Umdrehung in 48 Stunden. Man kann daher SM zur Drehungsaxe des Spiegels nehmen; sie ruht auf einer Polaraxe, die sich in 48 Stunden einmal umdreht, während die Linie MR auf einer Gabel FM ruht, oder während die Normale in der Ebene FMS erhalten wird.

2° Denke man sich, dass der Declination des Strahls FM derjenigen der Sonne gleich, aber entgegengesetzt ist. Dann fällt M in den vom Punkte N beschriebenen Kreis, und die Normale dreht sich in der Ebene dieses Kreises um den Punkt M mit der Geschwindigkeit, die einer Umdrehung in 48 Stunden entspricht. Der Spiegel ist also parallel zur Weltaxe. Dies ist der August'sche Heliostat.

3° Sei FM parallel zur Weltaxe. Dann beschreibt MR einen Parallelkreis in 24 Stunden, und die Normale bildet mit FM einen festen Winkel, der gleich der halben Poldistanz der Sonne ist, wenn die Strahlen nach dem Nordpol geworfen werden, oder gleich dem Complement, wenn sie dem Südpol zugeworfen werden. Dies ist der Fahrenheit'sche (Fraunhofer'sche) Heliostat. Es ist jedenfalls derjenige, der sich am meisten für Photographen eignet, besonders in der Einrichtung, die ihm Herr van Monckhoven gegeben hat.[1]) Die Vorzüge dieses Apparates beruhen auf seiner Solidität und auf der Unveränderlichkeit der Breite des reflectirten Lichtbündels. Bei dem August'schen und dem Foucault'schen Heliostaten wird der Spiegel sehr bald zu kurz wegen der schrägen Reflexion, wenn man horizontale Strahlen haben will, wie es diese Heliostaten gestatten. Die Richtung der reflectirten Strahlen nach der Weltaxe, welche der Fraunhofer'sche Apparat allein gestattet, ist kein grosser Uebelstand für photographische Zwecke, denn es ist leicht, die Vergrösserungs-Apparate ein für alle Mal parallel zur Weltaxe aufzustellen. Es wäre daher zu wünschen, dass der Fraunhofer-Fahrenheit'sche Heliostat grössere Verbreitung fände.

Schliesslich bemerke ich noch, dass es immer leicht ist, bei allen Arten von Heliostaten das Uhrwerk unabhängig zu machen und demselben eine beliebige, z. B. horizontale Aufstellung zu geben. Man braucht offenbar nur die Polaraxe des Apparats durch ein schiefgeschnittenes Zahnrad mit dem letzten Rade des Uhrwerks zu verbin-

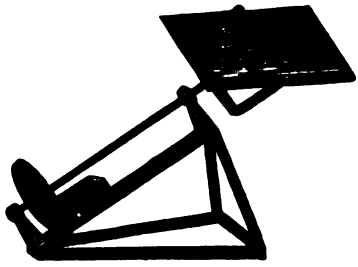
---

1) Traité d'optique photographique par D. van Monckhoven. Paris, 1866. Chez Masson.

Digitized by Google

den. Dies ist schon von Moncknoven bei dem Fahrenheit'schen und von Foucault bei dem *S'* Gravesande'schen Heliostaten in Ausführung gebracht. Es lässt sich ebenso mit Vortheil bei dem August'schen Heliostaten thun, welcher dadurch ausserordentlich einfach und leichtbeweglich wird, so dass man ihn durch ein schwaches Uhrwerk mit Gewichten treiben könnte. Ich füge, der Deutlichkeit wegen, Skizzen des Fahrenheit'schen und des August'schen Heliostaten mit dieser Verbesserung bei. Dieselben können in dieser Form mit grossen Spiegeln versehen werden.

August.



Fahrenheit.

Ueber ein Hypsometer mit directer Ablesung von R. Radau.

Man nennt Hypsometer ein Thermometer, welches eine feine Theilung zur Ablesung der Siedetemperatur des Wassers besitzt; bekanntlich berechnet sich aus dieser Temperatur die Barometerhöhe und folglich die Erhebung über dem Meeresspiegel. Es ist nun merkwürdig, dass die Erhebung fast genau der Variation des Siedepunktes proportional ist, und diese Bemerkung hat Herrn von Abbadie veranlasst, Hypsometer mit gleichtheiliger Scala verfertigen zu lassen, auf der die Meereshöhe direct abgelesen wird. Das Princip dieser Instrumente will ich im Folgenden kurz entwickeln.

Die Laplace'sche Barometerformel lässt sich schreiben:

$$s = 18382^{m} \log \frac{760}{B} \left(1 + 2\,\frac{t + t_0}{1000}\right) \left(1 + \frac{s}{R}\right),$$

wo s die Meereshöhe in Metern, R den Erdradius, B das Barometer in Millimetern bedeutet; t und t_0 sind die Lufttemperaturen, in Graden von Celsius ausgedrückt (t_0 ist die Temperatur am Meeresniveau, 760

Digitized by Google

der angenommene Werth des Barometers für dasselbe Niveau). Man erhält eine Niveaudifferenz, wenn man in dieser Formel B' statt 760, t' statt t_0 und $\frac{z+z'}{R}$ statt $\frac{z}{R}$ schreibt. Die Correction, welche den Erdradius im Nenner hat, lässt sich, wie ich gezeigt habe, auf eine für die Construction von Tafeln bequeme Art umformen. Man kann nämlich, bis auf verschwindend kleine Grössen,

$$\log\frac{B}{B'}\left(1+\frac{z+z'}{R}\right) = \log\frac{760}{B'}\left(1+\frac{z'}{R}\right) - \log\frac{760}{B}\left(1+\frac{z}{R}\right)$$

setzen, und da z von B und z' von B' abhängt, so genügt es, eine Tafel der Grössen

$$A = 18382\log\frac{760}{B}\left(1+\frac{z}{R}\right)$$

zu berechnen, deren Argument das Barometer ist, und dann die Differenz dieser angenäherten Meereshöhen zu nehmen, um eine genäherte Niveaudifferenz zu erhalten. Man multiplicirt nachher mit dem Temperaturfactor.

Die Meereshöhen auf die Barometerscala aufzutragen, ginge nicht an, denn bei 760^{mm} hat 10 Meter Höhendifferenz für ein Millimeter in der Barometerhöhe, und bei 400^{mm} schon 20 Meter Differenz. Die Theilung würde daher ungleiche Abstände erfordern. Dieser Uebelstand verschwindet beim Hypsometer. Die Regnault'schen Beobachtungen der Dampfspannung lassen sich, zwischen 80 und 100° C., durch die Formel

$$\log\frac{760}{B} = \frac{5{,}212\,(100-T)}{235+T}$$

darstellen. Setzt man diesen Ausdruck in die Barometerformel, so wird

$$z = 286^m\,(100-T)\left(1+3\frac{100-T}{1000}+2\frac{t+t_0}{1000}+\frac{z}{R}\right).$$

Für $\frac{z}{R}$ kann man den Näherungswerth $\frac{286\,(100-T)}{R}$ schreiben, und die Formel wird dann:

$$z = 286\,(100-T)\left(1+3{,}03\frac{100-T}{1000}+2\frac{t+t_0}{1000}\right).$$

Für Niveauunterschiede erhält man

$$z'-z = 286\,(T-T')\left(1+3{,}03\frac{200-T-T'}{1000}+2\frac{t+t'}{1000}\right).$$

Digitized by Google

Berechnen wir nun eine Tafel der genäherten Meereshöhen

$$A = 286\,(100 - T)\left(1 + 3{,}03\,\frac{100 - T}{1000}\right),$$

so werden Höhenunterschiede:

$$z' - z = (A' - A)\left(1 + 2\,\frac{t + t'}{1000}\right).$$

Man findet auf diese Weise $A = 5767^{m}$ für $T = 81^{0}$, $A = 2343^{m}$ für $T = 92^{0}$, u. s. w. Die Unterschiede sind fast genau proportional mit den Differenzen der Siedepunkte. Wenn man daher die Zahlen A direct auf eine in gleiche Theile getheilte Thermometerscala aufträgt, so liest man die Höhen ebenso genau ab, als wenn man sie aus abgelesenen Temperaturgraden berechnet hätte. Das hat dann das Gute, dass man sich über die Genauigkeit der mit vielen Dezimalen berechneten Höhen keine Illusionen machen kann. Ausserdem kann man jedem Thermometergrad eine Ausdehnung von mehr als 3 Centimeter geben, und jedes Zehntel Millimeter stellt dann 1 Meter Höhenunterschied vor; die Ablesung ist also deutlicher als beim Barometer. Um grosse Genauigkeit zu erreichen, müsste man die Theilpunkte von 500 zu 500 Meter direct bestimmen, und die Intervalle in gleiche Theile theilen. Beifolgende Tafel gibt die Siedetemperaturen, welche runden Höhenunterschieden entsprechen.

Genäherte Meereshöhe.	Siedepunkt.	Differenz für 100 Meter.	Genäherte Meereshöhe.	Siedepunkt.	Differenz für 100 Meter.
— 400^{m}	101.41^{0}	0.35^{0}	350^{m}	98.78^{0}	0.35^{0}
— 350	101.23	0.36	400	98.60	0.35
— 300	101.05	0.35	450	98.43	0.34
— 250	100.88	0.35	500	98.26	0.35
— 200	100.70	0.35	550	98.08	0.35
— 150	100.53	0.35	600	97.91	0.34
— 100	100.35	0.35	650	97.74	0.34
— 50	100.18	0.35	700	97.57	0.35
0	100.00	0.35	750	97.39	0.35
+ 50	99.83	0.35	800	97.22	0.34
100	99.65	0.35	850	97.05	0.34
150	99.48	0.35	900	96.88	0.34
200	99.30	0.35	950	96.71	0.35
250	99.13	0.35	1000	96.53	0.35
300	98.95	0.35	1050	96.36	0.34

Digitized by Google

Genäherte Meereshöhe.	Siedepunkt.	Differenz für 100 Meter.	Genäherte Meereshöhe.	Siedepunkt.	Differenz für 100 Meter.
1100m	96°.19	0°.34	2600m	91°.15	0°.33
1150	96.02	0.34	2800	90.49	0.33
1200	95.85	0.34	3000	89.83	0.33
1300	95.51	0.34	3200	89.17	0.33
1400	95.17	0.34	3400	88.52	0.32
1500	94.83	0.34	3500	88.20	0.32
1600	94.49	0.34	3600	87.87	0.33
1700	94.15	0.34	3800	87.22	0.32
1800	93.82	0.33	4000	86.58	0.32
1900	93.48	0.34	4200	85.94	0.32
2000	93.15	0.33	4400	85.30	0.32
2100	92.81	0.34	4500	84.98	0.32
2200	92.48	0.33	4600	84.67	0.32
2300	92.14	0.33	4800	84.03	0.32
2400	91.81	0.33	5000	83.40	0.31
2500	91.48	0.33			

Construction von Spectroscopen ohne Abweichung, mit 1 oder 2 Prismen.

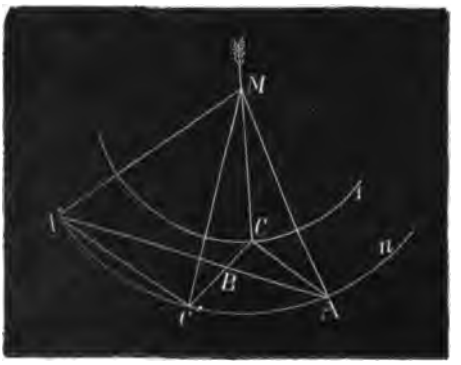


Fig. 1.

Fig. 2.

1. Spectroscop mit einem Prisma. Man beschreibe zwei concentrische Kreise mit den Radien 1 und n. Sei MC die gemeinsame Richtung des ein- und des austretenden Strahls, CA die Normale der Eintritts- und CC' die Normale der Austrittsfläche; dann sind MA und MC' die Richtungen des nach dem Eintritt gebrochenen und des vor dem Austritt gebrochenen Strahls. Dazwischen wird der Strahl

Digitized by Google

zweimal im Innern reflectirt, zuerst an der dritten, dann an der ersten Fläche (Eintrittsfläche). Zieht man CA' parallel zu CA, so ist MA' die Richtung des einmal reflectirten Strahls, und AA' die Normale der dritten Fläche. Die Dreiecke ABC oder $A'BC'$ stellen also den Durchschnitt des Prismas vor. Die Figur 2 macht den Gang der Strahlen noch deutlicher. Das Princip ist dasselbe wie in dem Spectroscop von Alexander Herschel. Nähme man $C = 90^0$ und den Winkel A ein wenig grösser als $45^0 - \frac{1}{2}$ arc sin $\frac{1}{n}$, d. h. ungefähr $= 26$ oder 27 Grad für Flintglas, wo der Winkel der totalen Reflexion $\left(\text{arc sin } \frac{1}{n}\right)$ ungefähr 38 Grad beträgt, so könnte man die Strahlen senkrecht auf die Fläche AC fallen lassen, und die austretenden Strahlen wären, wie in dem Prisma von Matthiessen, fast parallel zur Austrittsfläche, die Dispersion also sehr bedeutend. Eine Abweichung von einigen Graden zwischen den einfallenden und den austretenden Strahlen würde hier nützlich sein, und den Gebrauch des Spectroscops zum directen Anvisiren der Lichtquelle nicht hindern. Man könnte die Fläche AC ausserdem als Linse anschleifen, in deren Focus der Spalt gebracht würde; so bliebe nur noch ein Ocular hinzuzufügen.

2. Spectroscop mit zwei Prismen. — Nehmen wir die Punkte A, B, C auf drei mit den Radien 1, n, m beschriebenen Kreisen (Fig. 3), und verbinden dieselben mit einander, so sind CBA und BAC' die Winkel zweier Prismen, deren Vereinigung die mittlere Refraction aufhebt, wenn ihre Brechungscoëfficienten respective m und n sind, und die Flächen AB sich berühren. MC ist der einfallende und der austretende Strahl, CB die erste Normale, MC der einmal gebrochene, MA der zweimal gebrochene Strahl, BA die Normale der Contactfläche, CA diejenige der Austrittsfläche. Die Spectroscope mit drei, fünf, sieben Prismen u. s. w. sind schon von Herrn Dr. Voit (Repertorium, Bd. I, Heft 2, Seite 77) erklärt worden.

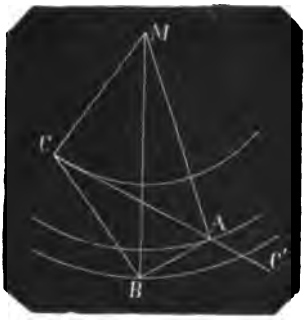


Fig. 3.

Digitized by Google

Eine neue Form des Tachytropen.

Von

Ph. Carl.

(Hiezu Tafel XXXIII, Figur 1—3.)

Im ersten Hefte (pag. 27) des laufenden Bandes unseres Repertoriums habe ich eine Einrichtung beschrieben, mittelst welcher es möglich wird, eine gegebene Anzahl von galvanischen Elementen rasch verschieden zu combiniren. Ich habe nun diese Einrichtung noch modificirt und zwar sind dabei die Quecksilbernäpfchen beseitigt und das Ganze in eine compendiösere Form gebracht.

Diese neue Einrichtung des Tachytropen ist auf Taf. XXXIII für sechs Elemente in natürlicher Grösse dargestellt. Fig. 1 zeigt den Apparat von vorn gesehen, Fig. 2 gibt die Projection auf die Fussplatte *N*. In dem viereckigen Holzrahmen *A* sind zwölf Klemmen und zwar sechs z, z, z, z, z, z zur Aufnahme der Zuleitungsdrähte zu den Zinkpolen der galvanischen Elemente, die anderen sechs k, k, k, k, k, k zur Aufnahme der Zuleitungsdrähte zu den anderen Polen der Elemente auf die durch die Figur dargestellte Weise befestigt, so dass sie durch die Vorderwand des Rahmens *A* ganz hindurchgehen. Mit der äussersten *z* Klemme und der äussersten *k* Klemme an der entgegengesetzten Seite sind die Klemmen *p* und *p'* zur Aufnahme der Enden des Schliessungskreises der Kette — des Galvanometerdrahtes — verbunden.

Im Innern des Rahmens *A* ist ein quadratisches Prisma *M* aus ganz hartem Holze angebracht, das um die Axe *B B* mittelst des Knopfes *C* gedreht werden kann. Auf jeder der vier Seiten dieses Prismas sind zwölf Kupferstiften angebracht, welche sich genau an die durch die Vorderwand des Rahmens *A* gehenden Klemmen $z, z..$ $k, k..$ andrücken lassen. Die Verbindung dieser zwölf Stiften an jeder Seite des Prismas ist verschieden, so dass eine verschiedene Combi-

Digitized by Google

nation der sechs Elemente hergestellt werden kann, je nachdem man die eine oder andere Seite des Prismas an die Klemmen andrückt. Fig. 3 zeigt, wie bei sechs Elementen auf solche Weise die Combination zu I, II, III und VI Elementen bewerkstelligt werden kann.

Damit die Verbindung zwischen den zwölf Klemmen und den zwölf Stiften einer jeden Seite des Prismas mit Sicherheit hergestellt werden kann, ist die Axe B, B in einem Schlitze verschiebbar, und hinter dem Prisma M befindet sich die Platte D, welche mittelst der Schraube S, S vor- und rückwärts gezogen und so das Prisma an die Klemmen angedrückt oder davon entfernt werden kann. Das Andrücken der Platte D wird ausserdem durch Federn versichert, welche übrigens in der Figur nicht sichtbar sind. Es kann dabei zugleich die Einrichtung getroffen werden, dass das Prisma herausgehoben und so bei Vorlesungen den Zuhörern die verschiedene Verbindung deutlich vor Augen geführt werden kann.

Die Handhabung des Apparates ist durch das Gesagte vollständig verständlich und es ist nur noch zu bemerken, dass der Rahmen A auf einem Cylinder F (Fig. 1) aufsitzt, welcher in der Büchse $G G$ auf- und abgeschoben und mittelst der Klemmschraube H in beliebiger Höhe festgestellt werden kann. Das Ganze steht auf einem soliden Fusse N. Schliesslich die Bemerkung, dass der Apparat in meiner Werkstätte für eine beliebige Anzahl von Elementen ausgeführt wird.[1])

1) Ich habe in meiner letzten Notiz über den Tachytropen pag. 27 das Wort „Pachytrop" für einen wahrscheinlichen Druckfehler gehalten. Es kommt mir von sehr geehrter Seite die Mittheilung zu, dass dieser Ausdruck wirklich seine Berechtigung habe; denn der Apparat verwandele wirklich, ob schnell oder langsam, die Dicke der Drähte, indem er statt eines Drahtes von der Länge l und der Schnittfläche d einen solchen von der Länge $\frac{l}{2}$ und der Schnittfläche $2d$ einführe.

Für meinen Apparat ist übrigens, da diese Verwandlung rasch geschieht, auch das Wort „Tachytrop" zulässig.

Digitized by Google

Ueber ein Marine-Chronometer mit electrischer Registrirung.

Von

Dr. Hirsch.

(Hiezu Tafel XXXIII, Figur 4 und 5.)

(Aus den Bulletins der Neuschateler Gesellschaft vom Herrn Verfasser freundlichst mitgetheilt.)

Der Vorzug der chronographischen Beobachtung vor der alten Beobachtungsmethode nach dem Gehör ist, namentlich wo es sich darum handelt, den Augenblick einer Beobachtung mit der äussersten Genauigkeit zu präcisiren, heut zu Tage allgemein anerkannt und der Chronograph ist in den meisten Observatorien eingeführt.

Allein auch ausser den Observatorien machen z. B. die Studien der höheren Geodäsie die Anwendung des Chronographen wünschenswerth; unter Anderem bei der Längenbestimmung und bei der Messung der Schwere mittelst des Pendels. Dann ist es aber nothwendig, den Chronographen nicht mehr mittelst eines Pendels, das so schwer und langwierig zu transportiren und auf einem provisorischen Observatorium aufzustellen ist, functioniren zu lassen, sondern es müssen die Secunden wo möglich mittelst einer leicht transportablen Uhr registrirt werden. Da nun die Künstler dahin gelangt sind, für die Marine-Chronometer eine Regelmässigkeit des Ganges herzustellen, die wenig hinter der der astronomischen Pendeluhren zurückbleibt — denn während die mittlere Variation des täglichen Ganges bei den letzteren um ein Zehntel Secunde herum schwankt, ist die der besseren Marineuhren zwischen zwei und drei Zehntel eingeschlossen —, so schien es mir möglich, die Zeit durch ein Marinechronometer registriren zu lassen, wenn man nur ein Mittel ausfindig macht, wodurch ihm die gleiche Function ertheilt wird, ohne zugleich seinen Gang merklich zu beeinträchtigen.

Digitized by Google

Um diesen Zweck zu erreichen, musste man nothwendig darauf verzichten, an dem Werke des Chronometers, das eine sehr feine mechanische Einrichtung hat, direct die Vorrichtung zum Oeffnen und Schliessen des Stromes anzubringen. Da nämlich die Intensität des letzteren stets mehr oder weniger veränderlich ist und die Beschaffenheit der Contactflächen sich mit der Zeit ändert, so schwankt ihre gegenseitige Attraction, ihre Adhäsion und folglich auch der beim Schliessen und Oeffnen zu überwindende Widerstand innerhalb Grenzen, die man, wenn es sich um ein genaues Chronometer handelt, nicht vernachlässigen darf. Andrerseits ist die Kraft, womit man die Contactstellen schliessen muss, um den Stromkreis sicher zu schliessen, viel zu stark, um sie an dem letzten beweglichen Theile des Chronometers, nämlich an dem Echappementrade oder seiner Axe anzubringen, was doch nothwendig wäre, da der Strom in jeder Secunde geschlossen werden soll.

Man musste also nothwendig zu einem Hilfsräderwerk seine Zuflucht nehmen, welches mit einer eigenen bewegenden Feder und mit einem Flügel versehen, in jeder Secunde den Strom schliesst oder vielmehr unterbricht und welches selbst durch die Hauptbewegung des Chronometers mittelst eines besonderen Echappements ausgelöst wird. Man konnte auf diese Art dem Flügel die nöthige Kraft ertheilen und so auf die Axe des Chronometer-Echappements blos die geringe Leistung des Auslösens übertragen, die überdies vollständig unabhängig von den Aenderungen der Intensität des Stromes ist.

Die electrischen Theile musste man so anordnen, dass die Contactstellen zugänglich wurden, um sie reinigen zu können, ohne das Chronometer abnehmen zu müssen. Andrerseits musste die Stromverbindung durch Einführen der Drähte in zwei Knöpfe der äusseren Büchse hergestellt werden und die electrische Verbindung in allen Lagen des Chronometers unberührt bleiben.

Die Herren William Du Bois aus Locle und Hipp aus Neuchâtel, an die ich mich hinsichtlich der Ausführung des Projectes wandte, haben das Problem in folgender Weise gelöst.

Unter der gewöhnlichen unteren Platte des Marine-Chronometers und in derselben Metallbüchse befindet sich eine dritte Platte, welche das Hilfsräderwerk trägt, das mittelst dreier Räder den Flügel *A* in Bewegung setzt. Die Fig. 4 Tab. XXXIII zeigt in vierfacher natürlicher Grösse das Echappement, welches das Räderwerk des Chronometers mit dem Hilfsräderwerk verbindet. Die Axe des Chronometer-Echappements trägt

Digitized by Google

das Auslösungsrad C, welches, indem es in jeder Secunde um einen Zahn vorrückt, den Anker B aufhebt, an dem die Flügelspitze anliegt. Dieser Anker trägt an seiner Axe eine gefasste Spirale (die in der Zeichnung nicht sichtbar ist), wodurch er beständig das Bestreben erhält, sich an den Ruhestift D anzulegen. Wenn der Anker durch das Rad c in die Höhe gehoben wird, so setzt sich der Flügel A in Bewegung, der bisher an dem steinernen Zahn r des Ankers ruhig anlag. Der andere Zahn r' des Ankers dient zur Versicherung, damit für den Fall, dass die Spirale am Anker diesen nicht bis zum Ruhestift D zöge, die Spitze des Flügels, während sie am Zahne r vorbeigeht, diesen gleichzeitig anhält, damit also die Spitze sich an r anlegt und so eine doppelte Umdrehung des Flügels verhindert wird.

Die Axe des Flügels trägt einen Aufsatz von Edelstein m (Fig. 5), der, wie dies die Figur zeigt, ausgeschnitten ist. Auf der Ebene dieses Steines ruht der isolirte Hebel B auf, der um die Axe a beweglich ist; dieser Hebel trägt eine kleine Platinplatte P, welche mit der Platinspitze der Schraube, die selbst an einem isolirten Stege C angebracht ist, in Berührung steht. Der Contact der beiden Platinflächen wird durch die goldene Feder R stets mit hinlänglicher Kraft bewerkstelligt; die Feder R ist mittelst zweier Schrauben an dem gleichfalls isolirten Stege D befestigt. Durch die beiden Stege C und D gehen die zwei Stiften o und p hindurch, welche von der Metallbüchse des Chronometers ausgehen und sich an zwei Federn anlegen, die im Boden der äusseren Büchse befestigt und metallisch mit den beiden Zuleitungs-Drähten verbunden sind, welche die Drähte der Säule und des Chronographen aufnehmen. Es ist klar, dass der Strom vom Stifte p durch den Steg und die Schraube V zur Contactstelle P und von da durch den Hebel B und die Feder R zum anderen Stift O geht. Wenn aber der Flügel seine Umdrehung zurücklegt, so hebt der Stein m, indem er sich dreht und den Widerstand der Feder R überwindet, den Hebel B und unterbricht so den Contact bei P. Da diese Unterbrechung jede Secunde wiederkehrt, so sieht man, wie das Chronometer an dem Chronographen registriren muss.

Dies ist nun in kurzen Worten und mit Beiseitesetzung aller Constructionsdetails das Princip des Instrumentes; ich füge nur hinzu, dass ein von aussen zugänglicher Riegel die Arretirung und Freilassung des Hilfswerkes gestattet. Ist dieses im Gange, so wird die Oscillation des Balancier's, welcher anderthalb Umgänge, also 540° macht,

Digitized by Google

um 10° vermindert, was bei einer isochronen Spirale den Gang nicht in merklichem Betrage ändern kann.

Wirklich hat die Prüfung einiger Wochen, während welcher ich bis jetzt das Chronometer untersuchen konnte, einen guten Erfolg hoffen lassen; denn es ist nicht nur der Gang des eigentlichen Chronometers von erstaunlicher Regelmässigkeit — er variirt von einem Tage zum andern im Mittel nur um 5 bis 6 Hundertel einer Secunde — sondern er hat sich, und das ist das Wesentliche, nicht in merklicher Weise geändert, mag man das Hilfswerk mit oder ohne electrischen Strom in Bewegung setzen oder nicht. Während der mittlere tägliche Gang des Chronometers — 5ˢ,28 war, wenn das Hilfswerk nicht im Gange war, betrug er — 5ˢ,25, wenn man das Hilfswerk 4 Stunden lang ohne Strom gehen liess; wendete man das Hilfswerk und den Strom 8 Stunden lang an, so wurde der Gang — 5ˢ,35. Es sind dies Aenderungen, die innerhalb der Grenzen der besten astronomischen Pendeluhren eingeschlossen; sie könnten 4 bis 5 mal grösser sein, ohne den Zweck zu vereiteln, da man das registrirende Chronometer immer nur einige Stunden lang anwenden wird.

Ich füge noch bei, dass die am Chronographen registrirten Secunden von besonderer Regelmässigkeit sind; der Streifen gibt sie von einer Länge von nahezu 15 Millimetern. — Man kann also das Problem der electrischen Registrirung mittelst des transportablen Chronometers und folglich auch die Anwendung des Chronometers ausserhalb der festen Observatorien als gelöst betrachten.

Digitized by Google

Ueber Thermometer.

Von

Ph. Carl.

(Hiezu Tafel XXXIV.)

I.

1. Die Temperatur eines Körpers wird gemessen durch die Ausdehnung, welche ein zweiter Körper — das Thermometer — zeigt, nachdem derselbe mit dem ersteren in Berührung gebracht wurde. Man erhält übrigens bei dieser Operation nicht die ursprüngliche Temperatur des zu untersuchenden Körpers, sondern diejenige, welche derselbe angenommen hat, nachdem zwischen ihm und dem Thermometer die Wärme vermöge ihres beweglichen Gleichgewichtes ausgeglichen ist.

Es bezeichne[1]) nun M die Masse, S die specifische Wärme und T die ursprüngliche Temperatur des zu untersuchenden Körpers; m, s, t seien die entsprechenden Grössen für das Thermometer und τ sei die nach dem Ausgleichen der Wärme beobachtete Temperatur, so ist offenbar

$$MST - MS\tau = ms\tau - mst$$

und daraus

$$T = \tau + \frac{ms}{MS}(\tau - t).$$

Damit man also die ursprüngliche Temperatur eines Körpers mittelst des Thermometers mit hinreichender Genauigkeit erhalte, muss das Glied

$$\frac{ms}{MS}(\tau - t)$$

verschwindend klein werden. Es hat dies dann statt, wenn die Masse M des Körpers gegen die Masse m des Thermometers sehr gross ist und die thermometrische Substanz eine sehr geringe specifische Wärme s hat.

1) Kunzek, Lehrbuch der Physik mit mathematischer Begründung. 2. Auflage p. 14.

Digitized by Google

Eine weitere Bedingung, welche bei der Wahl der thermometrischen Substanz beachtet werden muss, besteht darin, dass innerhalb der Grenzen ihrer Anwendung die Ausdehnung der Wärmeänderung proportional sei oder dass wenigstens alle Abweichungen hievon genau bekannt seien; sie muss ferner eine sehr gute Wärmeleitungsfähigkeit besitzen, um ganz geringe Aenderungen der Temperatur rasch anzeigen zu können.

2. Betrachtet man die bisher gebrauchten Thermometer, so ist bei ihnen als thermometrische Substanz entweder ein fester oder ein flüssiger oder auch ein gasförmiger Körper verwendet worden.

Unter den festen Körpern sind die Metalle für den vorliegenden Zweck besonders geeignet, da sie sehr gute Leiter für die Wärme sind, eine sehr geringe specifische Wärme besitzen und bei ihnen ferner die Aenderung in der Ausdehnung innerhalb ziemlich weiter Grenzen der Temperaturänderung genau proportional ist.

Unter den gasförmigen Körpern wurde blos die atmosphärische Luft als thermometrische Substanz verwendet.

Bei weitaus den meisten Thermometern wurde ein flüssiger Körper in Anwendung gebracht. Die ältesten Thermometer beruhten auf der Ausdehnung von Weingeist, der mit Wasser vermischt war. Newton brachte[1]) das Leinöl in Vorschlag, Luz hat[2]) Salmiakgeist empfohlen; doch sind diese Vorschläge nicht weiter beachtet worden. Von eigentlicher Bedeutung sind unter den flüssigen Körpern für die Thermometer blos Weingeist und Quecksilber geworden und man hat sich anfangs viel gestritten[3]), welchem von beiden der Vorzug zu geben sei; in der Neuzeit ist man jedoch bei dem Quecksilber als dem Besseren stehen geblieben und wendet den Weingeist nur in denjenigen Fällen an, wo es sich um die Bestimmung tieferer Temperaturen handelt, weil die Ausdehnung des Quecksilbers schon in der Nähe seines Erstarrungspunktes nicht mehr regelmässig ist. Für sehr tiefe Temperaturen empfiehlt Muncke[4]) die Anwendung von Schwefelkohlenstoff und rectificirtem Petroleum.

Wir werden uns in dieser Abhandlung zunächst mit den Flüssigkeitsthermometern beschäftigen und behalten uns die Betrachtung der Metall- und Luft-Thermometer für eine weitere Mittheilung vor.

1) Philosophical Transactions 1701 Nr. 270.
2) Luz, Vollständige Anweisung, die Thermometer zu verfertigen.
3) Gehler's Wörterbuch. Neue Bearbeitung, Artikel Thermometer.
4) Gehler's Wörterbuch l. c.

Digitized by Google

3. Die erste Erfindung des Thermometers schreibt sich vom Ende des sechzehnten Jahrhunderts her und zwar werden als Erfinder die Namen Drebbel, Fludd, Porta, Sarpi, Baco, Galilaei und Sanctorius gefunden, von welchen jedoch nach einer quellenmässigen Kritik, wie E. E. Schmidt gezeigt hat[1]), blos die beiden letzteren stehen bleiben. Sanctorius hat nämlich ein Instrument zur Bestimmung der Lufttemperatur zuerst beschrieben[2]); da er sich jedoch gleichzeitig mit Galilaei zu Padua aufhielt, so glaubt Schmidt, dass sich nicht entscheiden lasse, von wem die erste Anregung zu diesem Instrument ausgegangen sei.

Man findet in den Lehrbüchern selbst jetzt noch häufig nach dem Vorgange von Dalencé[3]) den Holländer Cornelius Drebbel als den Erfinder des Thermometers genannt; Emil Wohlwill hat jedoch in der jüngsten Zeit die zu Gunsten dieses Mannes erhobenen Ansprüche als völlig grundlos dargethan[4])

Ganz abgesehen von diesen Prioritätsdifferenzen bezüglich der Erfindung eines Thermometers überhaupt waren[5]) die Mitglieder der berühmten Academia del Cimento zu Florenz die ersten, welche diesem Instrumente im Allgemeinen die noch jetzt gebräuchliche Form gegeben haben.

4. Die Flüssigkeitsthermometer bestehen aus einer engen cylindrischen Glasröhre — einer sogenannten Thermometerröhre —, welche an ihrem einen Ende zugeschmolzen ist, an ihrem anderen Ende dagegen mit einem kugel- oder cylinderförmigen Gefässe versehen ist. In diesem Gefässe und einem Theile der Röhre befindet sich die Flüssigkeit — das Quecksilber oder der Weingeist —; der darüber befindliche Raum soll luftleer sein.

Die Wahl des Glases ist durchaus nicht gleichgültig. Einmal ist der Ausdehnungscoëfficient verschiedener Glassorten, wie Regnault

---

1) Lehrbuch der Meteorologie p. 65. In Karsten Allgemeine Encyclopädie der Physik.

2) Sanctorii Justinianopolitani commentariorum in artem medicinalem Galeni libri tres. Lugduni 1632. 4. p. 644, 6. Partis III, Capitis 86, particula 3.

3) Dalencé, Traittez des thermomètres. Amsterdam 1688.

4) Poggendorff's Annalen 1865. Bd. 124 p. 163 ff.

5) P. van Musschenbrack, Tentamina experimentorum naturalium captorum in Academia del Cimento. Viennae, Pragae et Tergesti MDCCLVI p. 4.

Digitized by Google

gezeigt hat[1]), sehr verschieden und zwar ist dabei die Ausdehnung nicht blos ungleich, sondern auch ungleichförmig; es entstehen so bei Vergleichung von Thermometern aus verschiedenen Glassorten Unsicherheiten im Gange derselben, welche namentlich bei höheren Temperaturen (über dem Siedpunkte) bemerklich werden[2]).

Das verwendete Glas sollte[3]) ferner nicht zu hart, aber auch nicht zu weich sein. Ist nämlich dasselbe zu hart, so wird dadurch seine Bearbeitung erschwert; ist es dagegen zu weich, so hat dies den Nachtheil, dass es entweder schon an der Glasbläserlampe oder mit der Zeit selbst in gewöhnlicher Temperatur eine Zersetzung erfährt, so dass die Flüssigkeit an demselben hängen bleibt und daraus verminderte Durchsichtigkeit und anderweitige Uebelstände hervorgehen.

Was die Dicke der verwendeten Glasröhren betrifft, so ist dieselbe je nach Bedürfniss sehr verschieden. Man nimmt im Allgemeinen dünne Röhren lieber als dicke, da diese bei der Füllung leichter zerspringen; soll jedoch die Scala auf der Röhre selbst aufgetragen werden, so muss man etwas stärkere Röhren wählen.

Der innere Durchmesser der Röhre, das sogenannte Caliber, richtet sich je nach der Empfindlichkeit, welche das Thermometer zeigen soll, und zwar wird, wie wir später sehen werden, das Instrument um so empfindlicher, je enger der innere Durchmesser der Röhre ist. Weite Röhren lassen zwar das Ende der Quecksilbersäule leichter finden als enge; wenn man jedoch das Instrument in die richtige Beleuchtung bringt, so lässt sich schon bei einiger Uebung auch der feinste Quecksilberfaden erkennen.

Besonders geeignet sind die Röhren mit bandförmigem Caliber, weil hier der Quecksilberfaden breiter erscheint, ohne dass die Capacität der Röhre beträchtlich wird. In Fig. 1 Taf. XXXIV ist der Durchschnitt einer solchen Röhre senkrecht zur Axe derselben vergrössert dargestellt.

Dass die zu einem Thermometer verwendete Glasröhre gerade sein muss, bedarf wohl kaum der Erwähnung.

5. Eine weitere Bedingung, welche bei der Röhre erfüllt sein soll, besteht darin, dass sie genau cylindrisch ist; man prüft diesen

1) Annales de Chimie et de Physique. 3 Ser. Bd. 4 u. 5. Poggendorff's Annalen Bd. 55 p. 584. Bd. 57 p. 274. 562.

2) Vergleiche dazu die Tabelle in Jamin. Cours de Physique. Tome II p. 82.

3) Siehe zu diesem und dem Folgenden: Baumgartner, Naturlehre. Supplementband p. 103 ff.

Digitized by Google

Punkt dadurch, dass man die Röhre calibrirt. Zu diesem Zwecke bringt man einen Quecksilberfaden in die Röhre und misst an verschiedenen Theilen derselben seine Länge; ist diese dann an allen Stellen genau die gleiche, so ist die Röhre cylindrisch und brauchbar.

Die Abweichungen von der cylindrischen Gestalt werden hiebei um so merklicher, je grösser die Länge des Quecksilberfadens ist; allein es kann dann vorkommen, dass man sehr nahe an einander befindliche Unregelmässigkeiten, welche häufig zahlreich vorhanden sind, übersieht. Es ist deshalb zweckmässig, das Caliber der Röhre zweimal — mit einem längeren und einem kürzeren Quecksilberfaden — zu prüfen.

Um den Quecksilberfaden in die Röhre bringen zu können, taucht man dieselbe tief in ein mit reinem Quecksilber gefülltes Gefäss; schliesst man nun das obere Ende mit dem Finger, so wird man nach dem Herausziehen einen hinlänglich grossen Quecksilberfaden in der Röhre haben. Man kann hierauf durch Herauslassen von Quecksilber die Länge des Fadens beliebig vermindern. In keinem Falle darf aber das Quecksilber durch Saugen in die Röhre gezogen werden, weil dabei stets Feuchtigkeit in dieselbe gelangt, welche auf die weitere Operation nachtheilig wirkt.

Die Länge des Quecksilberfadens wird gemessen entweder mittelst eines ganz feinen Zirkels oder weit genauer an einer provisorischen Scala mit Zuhülfenahme mikroskopischer Ablesung.

Eine Röhre ist aber auch dann noch nicht zu verwerfen, wenn sie ein conisches Caliber besitzt. Bessel, Egen, Rudberg und Andere haben Methoden angegeben, vermittelst deren man schon fertige Thermometer bezüglich des Calibers untersuchen kann; wir werden später auf diesen Punkt zurückkommen, wenn von den Correctionen des Thermometers die Rede sein wird.

6. Nachdem die Thermometerröhre in Bezug auf das Caliber untersucht und als brauchbar befunden worden ist, muss sie mit einem kugelförmigen oder cylindrischen Gefässe versehen werden. Die Manipulation, wie das Anblasen dieses Gefässes an die Röhre geschieht, lässt sich nicht nach einer blossen Beschreibung bewerkstelligen; es ist hiezu practische Anweisung und Uebung am Glasbläsertische selbst erforderlich. Ein Umstand ist übrigens dabei wohl zu beachten, dass nämlich beim Aufblasen des Gefässes keine Feuchtigkeit in die Röhre

Digitized by Google

gelangen darf, weil diese namentlich bei engen Röhren nur mit grosser Mühe daraus wieder entfernt werden kann. Man hat deshalb vorgeschlagen, die Luft mittelst einer am Ende der Röhre angebrachten Kautschuckblase oder einer kleinen Spritze einzutreiben[1]); doch ist diese Methode, so viel ich weiss, gegenwärtig nicht mehr im Gebrauche und man hilft sich damit, dass man an die beiden Enden der Röhre von aussen her Gefässe anbläst.

Was die Grösse des Gefässes anbelangt, so richtet sich dieselbe nach dem inneren Durchmesser und der Länge der Röhre. Durand[2]) und Andere[3]) haben Vorschriften gegeben, durch welche die Grösse der Kugel für eine ihrem Durchmesser und ihrer Länge nach gegebene Röhre mittelst Rechnung gefunden werden kann. Diese Regeln sind jedoch nicht von practischer Bedeutung und geübte Künstler wissen aus Erfahrung hinlänglich sicher die richtige Grösse des Gefässes herzustellen.

In Bezug auf die Wahl der Röhre ist nun nur noch zu bemerken, dass dieselbe weit grösser sein muss, wenn sie mit Weingeist, als wenn sie mit Quecksilber gefüllt werden soll, da der Weingeist sich bei der gleichen Temperaturänderung stärker ausdehnt als das Quecksilber und deshalb bei Anwendung des ersteren für die gleiche Empfindlichkeit weitere Röhren gebraucht werden können als bei Quecksilber, ohne dass zugleich die Dimensionen des Gefässes geändert werden müssen.

7. Was nun das Hineinbringen der Flüssigkeit in die Röhre und das Gefäss betrifft, so soll hier zunächt blos auf das Füllen mit Quecksilber Rücksicht genommen werden, da die Operation für andere Flüssigkeiten in analoger Weise, nur weit leichter bewerkstelligt wird.

Vor Allem ist zu bemerken[4]), dass das Quecksilber, welches zum Füllen des Thermometers verwendet werden soll, rein sei oder im gegentheiligen Falle vorerst gereinigt werde. Ehe man jedoch das so vorbereitete Quecksilber in die Röhre bringen kann, muss am oberen

---

1) Baumgartner, Naturlehre, Supplementband p. 104. Körner, Anleitung zur Verfertigung übereinstimmender Thermometer und Barometer. Jena 1824. Gehler's Wörterbuch, Artikel Thermometer.

2) De Luc, Recherches sur les modifications de l'atmosphère. Nouvelle édition. Tome II, p. 304.

3) Körner, Anleitung etc. Gehler's Wörterbuch l. c.

4) Gehler's Wörterbuch l. c.

Digitized by Google

Ende derselben eine verhältnissmässig grosse Kugel (*C* in Fig. 2) angeschmolzen werden, welche oben in eine feine Spitze *S* ausgezogen ist. Wird nun das Ganze etwas erhitzt und die offene Spitze *S* in ein Gefäss mit gereinigtem Quecksilber gesenkt, so füllt sich nach dem Abkühlen die Kugel *C* mit einer mehr als hinreichenden Quecksilbermenge. Erwärmt man nun das Gefäss *A* mittelst einer Weingeistlampe oder über glühenden Kohlen, so entweicht ein Theil der durch die Wärme ausgedehnten Luft; lässt man hierauf das Gefäss *A* erkalten, so zieht sich die Luft in demselben und der Röhre zusammen und ein Theil des Quecksilbers fällt aus der Kugel *C* vermöge des äusseren Luftdruckes in das Gefäss *A* herab. Nachdem man durch mehrmaliges Wiederholen dieser Operation leicht eine hinreichende Menge Quecksilbers in das Gefäss und die Röhre gebracht hat, zieht man die Röhre unterhalb der oberen Kugel in eine feine Spitze aus, bricht sie dort ab und erwärmt das Gefäss *A* so lange, bis die ganze Röhre mit Quecksilber angefüllt ist, worauf man rasch die Spitze zuschmilzt. Da es ein wesentliches Erforderniss ist, dass alle Luft und Feuchtigkeit im Innern der Röhre entfernt sei, so begnügt man sich nicht, durch wechselseitiges Erwärmen und Abkühlen einfach das Quecksilber in die Röhre und das Gefäss herabzubringen, sondern man lässt diese Flüssigkeit zum Sieden kommen und erhält sie darin so lange, bis alle Luft und Feuchtigkeit vollständig entwichen sind.

8. Hat man das Thermometer so weit hergestellt, so muss es mit einer Scala versehen werden. Diese wird entweder auf der Röhre selbst oder auf einem Lineale aufgetragen, an welches dann die Thermometerröhre befestigt wird. Im letzteren Falle (Fig. 3) biegt man beim Zuschmelzen die Spitze *a* (Fig. 3a) rechtwinklich um, so dass diese in eine passende Vertiefung am Lineale gebracht werden kann. Das Rohr selbst wird dann durch einen oder zwei Ringe *m*, *m* (Fig. 3) von feinem Drahte an dem Lineale selbst festgehalten. Was das Material für das Lineal betrifft, so darf dazu keine hygroscopische Substanz als etwa unlackirtes Holz oder Elfenbein genommen werden; man hat solche aus wohl gefirnisstem Holze, aus Glas und aus Metall — Messing, Eisen — verfertigt.

Sehr zweckmässig ist die in Figg. 4, 4a und 4b dargestellte Art, die Thermometerröhre mit der Scala zu verbinden. Die Scala, welche dabei auf Papier oder Beinglas getheilt ist, wird an dem Thermo-

Digitized by Google

meterrohre in der weiter unten bezeichneten richtigen Lage fest angekittet und das Ganze in einen weiteren, gläsernen Cylinder gebracht in der Weise, dass blos die Kugel am unteren Ende frei vorsteht. Die Thermometerröhre ist zu diesem Zwecke unten (Fig. 4 b) zu einem Knie umgebogen, der gläserne Ueberwurf verengert sich nach unten und ist oberhalb der Kugel an der Röhre angeschmolzen. Das obere Ende des Ueberwurf-Cylinders wird ebenfalls zugeschmolzen und oben mit einem Ringe versehen, an welchem das ganze Instrument mittelst eines Fadens oder Drahtes aufgehängt werden kann. Das Thermometerrohr wird sammt der Scala im Innern des Cylinders in der Art befestigt, dass es an der dem Beobachter zugewendeten Wand desselben anliegt, und aus diesem Grunde wird unten die Röhre zu einem Knie umgebogen, damit die Axe des Cylinders mit dem Mittelpunkte der Thermometerkugel zusammenfällt. Es wird durch diese Einrichtung der Vortheil erzielt, dass eine durch äussere Einflüsse bedingte Veränderung der Scala gegen die Thermometerröhre gänzlich vermieden wird.

9. Um vergleichbare Thermometer zu erhalten und dieselben zugleich zu einem eigentlichen Messinstrumente zu gestalten, müssen für die Herstellung der Scala gewisse, genau bestimmte Anhaltspunkte gegeben sein; solche Anhaltspunkte gibt uns denn auch die Erfahrung an die Hand. Man weiss nämlich, dass die Temperatur des schmelzenden Eises oder Schnees unter allen Verhältnissen die gleiche bleibt, und es ist ferner bekannt, dass destillirtes Wasser bei demselben Luftdrucke und in einem Gefässe von dem gleichen Materiale stets bei der nämlichen Temperatur siedet. Man kann sonach für die Graduirung des Thermometers zwei ganz bestimmte Temperaturen zu Grunde legen, nämlich:

die Temperatur des schmelzenden Schnee's oder Eises — den sogenannten Eispunkt oder Gefrierpunkt; und

die Temperatur des siedenden Wassers — den sogenannten Siedepunkt.

Man bezeichnet diese beiden Punkte auch zusammen als die fixen Punkte des Thermometers.

10. Der Abstand zwischen dem Eispunkte und dem Siedepunkte, welchen man gewöhnlich den Fundamentalabstand nennt, wird dann in eine bestimmte Anzahl gleicher Theile — die sogenannten

Digitized by Google

Grade eingetheilt. Gegenwärtig sind noch dreierlei Scalen im Gebrauche:

1) Die Reaumur'sche, bei welcher der Fundamentalabstand in 80 gleiche Grade getheilt ist in der Art, dass am Eispunkte 0 — weshalb dieser Punkt auch häufig der Nullpunkt genannt wird — am Siedepunkte 80 steht. Diese Eintheilung wird noch häufig in Deutschland gebraucht.

2) Die Celsius'sche oder Centesimal-Scala, wobei am Eispunkte 0, am Siedepunkte 100 zu stehen kommt und also der dazwischenliegende Fundamentalabstand in 100 gleiche Grade getheilt ist. Diese Eintheilung ist in Frankreich ausschliesslich im Gebrauche und wird gegenwärtig auch in Deutschland bei rein physikalischen Untersuchungen meistentheils angewendet; blos für meteorologische Beobachtungen wird die Reaumur'sche Eintheilung beibehalten, weil die meisten dieser Beobachtungen bereits in der letzteren Scala ausgedrückt vorliegen.

3) Die Fahrenheit'sche Scala, welche fast ausschliesslich von den Engländern und in Amerika gebraucht wird und bei welcher der Fundamentalabstand in 180 gleiche Grade eingetheilt ist in der Art, dass an dem Gefrierpunkte — dem Nullpunkte der beiden vorausgehenden Scalen — die Zahl 32 gesetzt und von da bis 212, dem Siedepunkte, fortgerechnet wird.

Bei den drei genannten Scalen wird die Theilung auch über den Nullpunkt hinaus nach abwärts fortgesetzt und von Neuem weiter gezählt. Die Zahl der beobachteten Grade erhält dann das Vorzeichen +, wenn das Ende des Quecksilberfadens über dem Nullpunkte; sie erhält dagegen das Vorzeichen —, wenn das Ende des Quecksilberfadens unter dem Nullpunkte steht.

11. Hat man Beobachtungen, nach diesen verschiedenen Scalen ausgedrückt, vorliegen, so muss selbstverständlich beigefügt sein, für welche Scala die betreffenden Zahlen gelten. Man setzt deshalb zu diesem Zwecke den Reaumur'schen Graden ein R, den Centesimalgraden ein C, den Fahrenheit'schen Graden ein F bei; der Zahl der Grade wird ausserdem noch eine rechts oben stehende 0 beigefügt.

Da nun

$$100^0\,\mathrm{C} = 80^0\,\mathrm{R} = (212 - 32)^0\,\mathrm{F}$$

Digitized by Google

sind, so ergeben sich zur Vergleichung der drei angeführten Scalen die folgenden Formeln:

$$1^0\ R = \tfrac{4}{5}{}^0\ C$$
$$1^0\ R = \tfrac{4}{9}\ (F - 32)^0$$
$$1^0\ C = \tfrac{5}{9}\ (F - 32)^0$$
$$1^0\ C = \tfrac{5}{4}{}^0\ R$$
$$1^0\ F = \tfrac{9}{4}{}^0\ R + 32^0$$
$$1^0\ F = \tfrac{9}{5}{}^0\ C + 32^0$$

Sind mehrere Reductionen der Art vorzunehmen, so ist es zweckmässig, sich Tafeln für diesen Zweck zu berechnen; solche Tafeln finden sich fast in allen Lehrbüchern der Physik.

12. Ehe wir nun weiter gehen, mögen noch einige historische Notizen über die verschiedenen Thermometerscalen hier einen Platz finden.

Die Mitglieder der Academia del Cimento brachten an ihren Thermometern einen Punkt der mittleren Wärme an[1]), welche sie als die Wärme der Erde betrachteten und in tiefen Kellern, wo dieselbe das ganze Jahr hindurch constant blieb, zu finden glaubten. Von diesem Punkte aus nahmen sie willkürliche Grade, nach oben der Wärme, nach unten der Kälte an, meistens 100 nach jeder Seite hin.

Fahrenheit[2]) hat das Verdienst, zuerst die Construction der Thermometer auf sichere Grundlagen basirt zu haben.[3]) Der strenge Winter des Jahres 1709 veranlasste ihn, für den Nullpunkt seines Thermometers nicht die Temperatur des schmelzenden Eises zu nehmen, sondern die tiefste Temperatur, welche im genannten Jahre eintrat und welche er den absoluten Nullpunkt nannte, wodurch der

---

1) Gehler's physikalisches Wörterbuch. Neue Bearbeitung. Artikel Thermometer, pag. 857.

2) Gabriel Daniel Fahrenheit — geb. 14. Mai 1686 zu Danzig, gest. 16. Sept. 1736 in Holland — war der Sohn eines Kaufmanns und ging, um die Handlung zu erlernen, nach Amsterdam. Daselbst verlegte er sich jedoch bald ganz auf Physik und lebte grösstentheils in Holland und England als Glasbläser von der Anfertigung meteorologischer Instrumente. Ausser seinem Thermometer construirte Fahrenheit das erste brauchbare Gewichtsaräometer in seiner jetzigen Form, sowie das erste Thermobarometer; ferner machte er 1721 die Entdeckung, dass Wasser bedeutend unter den Frostpunkt erkaltet werden kann, ohne zu erstarren. Poggendorff biographisches Handwörterbuch I, pag. 717.

3) Siehe hiezu: Philosophical Transactions 1724 No. 381, 382; pag. 1 und 78. — Annals of Philosophy, T. VIII, p. 26.

Digitized by Google

Eispunkt nach seiner Scala auf die Zahl 32 traf. Als zweiten Punkt nahm Fahrenheit die menschliche Wärme, welche er fand, indem er das Thermometer einem gesunden Menschen so lange unter den Arm oder in den Mund hielt, bis er seine Wärme vollkommen angenommen hatte; dieser Punkt traf auf den 96ten Strich seiner Scala. Da Fahrenheit sehr gut übereinstimmende Thermometer herstellte, so ist man vielfach der Ansicht, dass er nicht die obigen Punkte, sondern die noch gegenwärtig gebrauchten fixen Punkte bei der Construction seiner Instrumente benützte. Als er Quecksilber als thermometrische Substanz gebrauchte (1714 oder 1715), hat er sicher den Siedepunkt als fixen Punkt angewendet.

Fast gleichzeitig mit Fahrenheit verfertigte Reaumur[1]) für die damalige Zeit sehr genaue Thermometer, benützte jedoch bloss verdünnten Weingeist als thermometrische Substanz. Zur Bestimmung des einen fixen Punktes brachte er[2]) sein Thermometer in eine Mischung von Eis und Salz, zur Bestimmung des zweiten fixen Punktes brachte er das Instrument in siedendes Wasser; den Zwischenraum theilte er, wie oben bemerkt, in 80 Grade. Reaumur nahm bereits auf die Veränderlichkeit des Siedepunktes Rücksicht.

Von historischer Bedeutung ist auch die von de l'Isle im Jahre 1733 in Vorschlag gebrachte Eintheilung.[3]) Er gebrauchte als thermometrische Substanz das Quecksilber; ganz eigenthümlich ist übrigens seine Scala. De l'Isle ging nämlich vom Siedepunkte als Nullpunkt aus und zählte sodann gegen den Eispunkt hin, wobei ihm 0,0001 der Volumsveränderung des Quecksilbers als das Maass eines Wärmegrades diente.

Celsius[4]) endlich schlug vor,[5]) den Fundamentalabstand der

---

1) René Antoine Ferchault de Réaumur war geboren zu La Rochette im Jahre 1683. Nachdem er sich anfangs dem Studium der Rechte gewidmet hatte, ward er 1708 Mitglied der Academie der Wissenschaften zu Paris. Er starb am 17. Octbr. 1757 zu Bermondières. Poggend. biogr. Handwörterb. II, p. 579.

2) Mémoires de l'Académie des Sciences de Paris 1730, p. 452, 1731, p. 250.

3) Mémoires pour servir à l'histoire et aux progrès de l'Astronomie et Géographie physique. St. Petersburg 1738, p. 267.

4) Anders Celsius — geb. 17. Novbr. 1701 zu Upsala, gest. 25. April 1744 ebendaselbst — war Professor der Astronomie zu Upsala und Urheber, sowie auch Mitarbeiter der französischen Gradmessung in Lappland. Poggendorff biogr. Handwörterb. I pag. 412. Eine ausführliche Biographie von Celsius findet sich in: v. Zach Monatliche Correspondenz XIII p. 92.

5) Abhandlungen der Schwedischen Academie, deutsch von Kästner. 1742, p. 197.

Digitized by Google

Bequemlichkeit halber in 100 gleiche Grade einzutheilen. Der gleiche Vorschlag wurde auch von Christin in Lyon gemacht.[1])

Die Zahl der für die Eintheilung der Thermometerscala gemachten Vorschläge liesse sich noch bedeutend vermehren;[2]) die meisten dieser Vorschläge sind jedoch für die Entwickelung der Wissenschaft ohne die geringste Bedeutung geblieben.

Es ist nun zunächst das Verfahren zu erörtern, durch welches eine genaue Bestimmung der fixen Punkte erzielt wird.

A. Bestimmung des Eispunktes.

13. Reaumur bestimmte den Eispunkt, indem er ein Gefäss mit Wasser in eine Mischung von 2 Theilen Eis und 1 Theil Kochsalz setzte und den Stand des Weingeistes im Thermometer für den Moment, wo die Erstarrung des Wassers eintrat, als den Gefrierpunkt bezeichnete. Er beschreibt sein Verfahren selbst folgendermassen:[3])

„On sçait assez, comment se fait la glace artificielle: les procédés usités journellement, sont ceux mêmes dont on se servira pour geler l'eau qui environne la boule de notre Thermomètre. La vâse où elle est contenue, doit être mis dans autre vâse d'un plus grand diamètre, et au moins de même hanteur. Le fer blanc est encore une matière propre à ces sortes de vâses. Le vuide qui reste entre les parois des deux vâses, sera rempli de glace qui aura été bien pilée et melée avec une bonne dose, soit de salpétre, soit de sel ammoniac, soit de sel marin. Une précaution accélére la congilation, c'est de couvrir le dessus des vâses: l'air exterieur est moins capable d'arrôter l'effet, qu'on veut produire. Les faiseurs de liqueurs glacées se contentent de mettre au dessus des vâses, quelques serviettes où quelques torchons. On fera encore mieux, si, sur le linge étendu sur les bords du vâse, on met une couche de glace pilée qu'on recouvrira de plusieurs torchons ou serviettes."

„A mesure que l'eau, qui entoure la boule du Thermomètre, se refroidit, la liqueur descend dans le tube. Quand la surface de cette eau est gelée, la liqueur est bien près du plus bas terme où elle descendra. Lors qu'on jugera qu'elle est à peu près aussi bas qu'elle peut aller, si elle est au dessous du terme (où doit être marquée la

1) Gehler's physik. Wörterbuch. N. Bearb. Art. Thermometer, p. 868.
2) Siehe darüber Gehler's Wörterbuch l. c.
3) Mémoires de l'Academie des Sciences de Paris, 1730, p. 452 ff.

Digitized by Google

congélation, c'est à dire, au volume de 1000 parties), on fera entrer de l'esprit de vin peu à peu avec une des petites mesures, ou avec un petit entonnoir, et sela jusqu'à ce que l'esprit de vin s'élève dans le tube à la hauteur du fil qui marque le terme. On sera ensuite attentif, si la liqueur ne continue pas à descendre: si elle descende encore, on ajoutera encore ce qu'il faut de liqueur pour la faire monter au terme marqué. Lorsqu'elle y reste constamment, on peut retirer la boule de la glace. Mais pour n'avoir pas la peine de briser la glace, et ne pas faire courir risque au Thermomètre, il vant mieux laisser fondre la glace, et atteindre qu'elle laisse sortir librement la boule, ou accélérer la fonte de la glace, en jettant dessus de l'eau chaude."

„Nous devons avertir qu'il arrive quelquefois, qu'après avoir fait entrer dans le tube la petite quantité d'esprit de vin, qui semblait nécessaire pour élever la liqueur jusq'au fil, qu'après avoir ou la surface de niveau avec le fil, elle vient, dans un quart d'heure, à l'excéder d'une ligne ou de davantage. On croiroit que c'est que la glace commence à se fondre; rependant l'élévation de l'esprit de vin est quelquefois dûe à une autre cause; il a fallu du tems pour se rendre à celui qui en descendant a rencontré les parois du vâse. On a preuve certaine que c'est cette cause qui produit la quantité excédente de volume de liqueur, lorsqu'on voit que sa surface se soutient constamment au même terme: elle s'y soutient pendant plus de huit à dix heures, lorsque les vâses sont dans un endroit frais, et qu'ils ont été bien envelopppés. Il faut donc retirer ce qu'il y a de liqueur au-dessus du fil . . ."

14. De Luc hat[1]) das eben beschriebene Verfahren Reaumur's einer eingehenden Prüfung unterworfen und durch Wiederholung von dessen Versuchen gefunden, dass der so erhaltene untere fixe Punkt sehr veränderlich sein kann. Die de Luc'schen Versuche stellten nämlich heraus, dass das Wasser unter Umständen bei einer sehr verschiedenen Temperatur erstarren kann, dass dagegen die Temperatur des schmelzenden Eises eine ganze constante ist und demnach einen geeigneten fixen Punkt für die Graduirung des Thermometers

1) De Luc, Recherches sur les modifications de l'atmosphère. Nouv. Edit. II T. pag. 233 ff.

Digitized by Google

abgibt. Es ist deshalb die Bezeichnung „Gefrierpunkt" eigentlich eine unpassende und sollte dafür etwa „Punkt des schmelzenden Eises" oder „Aufthaupunkt" gesetzt werden.

15. In neuerer Zeit haben sich namentlich Parrot[1]), Egen[2]) und Rudberg[3]) mit der Untersuchung der Bedingungen einer genauen Bestimmung des Eispunktes beschäftigt, und es bietet gegenwärtig diese Bestimmung an sich keine sehr grossen Schwierigkeiten mehr dar.

Man füllt nämlich zu diesem Zwecke mit fein zerstossenem Eise oder noch besser mit Schnee ein Gefäss, dessen Boden (Fig. 5) mit einem Loche versehen ist, damit das Wasser, welches beim Schmelzen des Eises entsteht, abfliessen kann. Hierauf bringt man die Kugel und einen Theil der Röhre in den Schnee. Das Quecksilber sinkt dann ziemlich rasch herab; sobald der Stand desselben constant geworden ist, bezeichnet man die Stelle, an welcher sich das Ende des Quecksilberfadens befindet — es ist dies der Eispunkt des Thermometers.

Bei dieser Operation sind jedoch einige Vorsichtsmassregeln wohl zu beachten, auf welche Lamont besonders aufmerksam gemacht hat.[4]) Einmal ist der Umstand zu berücksichtigen, dass die Temperatur des Schnee's, wenn er sich im Freien befindet, häufig unter dem Eispunkte steht. Bringt man dann eine solche Schneemasse in ein temperirtes Zimmer, so steigt die Temperatur des Schnee's allmählig, bis sie den wahren Eispunkt erreicht. Erst dann darf mit der Nullpunktsbestimmung begonnen werden und der Stand des Quecksilbers bleibt von da an constant, so lange der Schnee seinen Aggregatzustand nicht verändert hat. Ich habe mich selbst durch Versuche überzeugt, dass man unter Umständen 40 bis 50 Minuten warten muss, bis ein solcher constanter Stand eingetreten ist und die Eispunktsbestimmung vorgenommen werden darf. Beginnt man die Ablesung zu früh, so kann ein nicht unbeträchtlicher Fehler begangen werden.

Eine weitere Ungenauigkeit in der Eispunktsbestimmung kann dann eintreten, wenn der Schnee nicht ganz an der Thermometerkugel anliegt, weil die Temperatur der im Schnee eingeschlossenen Luft durchaus nicht nothwendigerweise die des Nullpunktes ist. Es ist des-

---

1) Parrot, Mémoire sur les Points fixes du Thermomètre. St. Petersburg 1828.
2) Poggendorff Annalen XI, p. 335 ff.
3) Ibidem XL, p. 42.
4) Lamont, Jahresbericht der Münchner Sternwarte für 1852.

Digitized by Google

halb erforderlich, den Schnee fest zusammenzudrücken, so dass er sich ganz genau an die Kugel anschliesst.

16. Um den so erhaltenen Eispunkt genau fixiren zu können, versieht man das Thermometer mit einer provisorischen, beliebig getheilten Scala und bemerkt an derselben den Stand, welchen das Quecksilber im schmelzenden Schnee eingenommen hatte. Handelt es sich um ganz besondere Genauigkeit, so kann man noch mikroskopische Ablesung zu Hilfe nehmen.

Egen's Apparat zur genauen Bestimmung des Eispunktes bestand in Folgendem.[1]) Ein Silberplättchen wurde mit einer ganz feinen Eintheilung versehen, bei welcher jeder Theil = 0,0652 Linien (Rheinländisches Duodecimalmaass) war. Die Theilstriche waren so fein, dass sie bei weitem noch nicht die Stärke des zehnten Theiles eines ganzen Theilungsintervalles erreichten. Die Silberplättchen wurden nun an der Thermometerröhre mittelst Drähten befestigt und zwar in der Nähe der Stelle, wohin der Eispunkt zu liegen kam; dabei wurde Sorge dafür getragen, dass die Theilstriche möglichst senkrecht gegen den Quecksilberfaden standen. Zum Ablesen gebrauchte Egen als Mikroskop den terestrischen Ocular-Ansatz eines Fernrohres, welcher 12,5 mal vergrösserte.

Rudberg hat sich bei seinen Untersuchungen des in Fig. 6 dargestellten Apparates bedient;[2]) er beschreibt das von ihm eingeschlagene Verfahren selbst folgendermassen: „Nachdem auf der Thermometerröhre, winkelrecht gegen deren Länge, und am besten in der Nähe des Nullpunktes, ein feiner Diamantstrich gezogen worden, wird der Abstand dieses Striches von jenem Punkte auf die Weise gemessen, welche ich nun beschreiben will. Man befestigte die Röhre auf einer Messingplatte AB dadurch, dass man den in der Mitte kugelförmigen Streifen mm auf die Röhre legt, und ihn, nachdem zwischen beide eine dünne Korkscheibe eingeschoben worden, mittelst der Schrauben SS festschraubt. Die Messingplatte war in der Mitte $abcd$ mit feinem Silber ausgelegt und auf diesem mit einer genauen Theilung versehen, deren Theile so klein waren, dass 198 derselben auf einen Decimalzoll gingen. Zur Ablesung diente ein einfaches Mikroskop DE, gehalten von der Hülse G und deren Ständer NMP, welcher mit seinem

1) Poggendorff Ann. XI, pag. 335.
2) Ibidem XL, p. 42.

Digitized by Google

unteren Ende MP die Platte AB umfasste und damit verschoben werden konnte. Das Mikroskop besass nur eine dreimalige Vergrösserung, damit das Ende der Quecksilbersäule und die um die Dicke der Röhre tiefer liegende Theilung zu gleicher Zeit deutlich gesehen werden konnten. Bei stärkerer Vergrösserung würde natürlich die eine undeutlich geworden sein, wenn die andere deutlich gewesen wäre. Um ferner beim Ablesen die Parallaxe zu vermeiden, welche nach der verschiedenen Stellung des Auges entstehen kann, wenn beide Objecte nicht in derselben Ebene liegen, befand sich am oberen Ende der Röhre DE ein Deckel mit einem kleinen Loche O, und in der Röhre selbst, etwa einen halben Zoll vom Objective E, ein messingenes Diaphragma, dessen kreisrunde Oeffnung eine Linie im Durchmesser hatte. Das Mikroskop wurde hiebei immer soweit verschoben, bis das Ende der Quecksilbersäule sich in der Mitte dieser Oeffnung befand, wodurch, da das Auge nur durch das kleine Loch O sehen konnte, die Parallaxe fast ganz aufgehoben ward. Nach einiger Uebung konnte man beim Ablesen durch Schätzung noch mit ziemlicher Sicherheit $^1/_5$ einer Abtheilung der Scala bestimmen. Die Bestimmung der Lage des Nullpunktes geschah nun so, dass man erst beobachtete, welchem Strich der Theilung der Diamantstrich entsprach; dann wurde das Thermometer in die Schnee- oder Eismischung gesetzt, und endlich, nachdem es darin längere Zeit gestanden hatte, der das Ende der Quecksilbersäule berührende Theilstrich abgelesen. Der Abstand dieses von dem vorhergehenden ergab nun genau, wie viele Scalentheile der Nullpunkt über oder unter dem auf der Röhre befindlichen Diamantstriche lag."

B. Bestimmung des Siedepunktes.

17. Weit weniger einfach als die Bestimmung des Eispunktes ist die Ermittelung des Siedepunktes am Thermometer.

Schon de Luc sagt:[1]) „Ce terme (la chaleur de l'eau bouillante) ne peut être regardé comme fixe, qu'avec ces deux conditions: un même dégré d'éboullition et un même poids de l'atmosphère," und fährt dann fort: „Quand l'eau commence à bouillir, elle n'a pas encore son plus haut dégré de chaleur. Il faut pour cela, que toute sa masse soit en mouvement, c'est à dire, que le bouillonement part du fond

1) De Luc, Recherches sur les modifications de l'atmosphère. T. II, p. 243.

Digitized by Google

du vâse, et, qu'il se répande sur toute la surface de l'eau, avec la plus grande impétuosité qu'il puisse acquérir. Depuis le commencement de l'éboullition, jusqu'à son plus haut période, l'eau éprouve une augmentation de chaleur de plus d'un dégré."

18. Allein auch in Bezug auf die Bestimmung dieses fixen Punktes sind die Verhältnisse erst durch die Untersuchungen von Egen[1]) und Rudberg[2]) auf eine sichere Grundlage zurückgeführt worden.

Vor Allem ist dazu die Anwendung von destillirtem Wasser erforderlich; ausserdem aber sind vorzüglich die zwei folgenden Umstände dabei in Betracht zu ziehen. Es ist nämlich bekannt, dass die Temperatur des siedenden Wassers für Gefässe aus verschiedenem Materiale nicht die gleiche ist; ferner ist diese Temperatur vom Luftdrucke abhängig.

Den ersteren Umstand kann man dadurch beseitigen, dass man bei der Bestimmung des Siedepunktes das Thermometer nicht in das Wasser selbst, sondern in die daraus entweichenden Dämpfe bringt.

Während nämlich siedendes Wasser schon am Boden eines von unten erhitzten Gefässes beträchtlich wärmer ist als an der Oberfläche, haben dagegen die aus demselben aufsteigenden Dämpfe bei demselben Luftdrucke stets die gleiche Temperatur, welches auch das Material seyn mag, aus dem das Gefäss verfertigt ist. Die Richtigkeit dieses Satzes wurde schon von Egen erkannt, sie ist durch die Versuche von Rudberg unzweideutig festgestellt worden.

19. Letzterer hat deshalb einen eigenen, sehr zweckmässigen Apparat für die Siedepunktsbestimmung angegeben, welcher aus Eisenblech besteht und in Figur 7 dargestellt ist. Auf dem weiteren Wassergefässe MN befindet sich ein Cylinder AB, der oben mit einem Korke geschlossen wird, in welchem ein engerer Cylinder CC' eingelassen ist; letzterer wird wieder mit einem Korke verschlossen, durch welchen die Thermometerröhre hindurchgeht. Wird nun das Wasser bis zum Sieden erhitzt, so gelangen die daraus entweichenden Dämpfe zum Thermometer und dieses steigt dann bis zum Siedepunkt empor. Der äussere Cylinder AB hat den Zweck, die rasche Abkühlung der das Thermometer umgebenden Wasserdämpfe zu verhindern; die Röhren

1) Pogg. Ann. XI, p. 517 ff.
2) Ibidem XL, p. 48 ff.

Digitized by Google

D, D gestatten den Dämpfen den freien Abzug aus dem Apparate. Es bedarf wohl kaum der Erinnerung, dass das Sieden, ehe man mit der Beobachtung beginnt, eine Zeit lang unterhalten seyn muss, und zwar im Allgemeinen um so länger, je dicker das Glas der Thermometerröhre ist, damit dieses vollkommen die Temperatur des Dampfes angenommen habe. Die Ablesung der Quecksilbersäule geschieht an einer provisorischen Scala mittelst des Mikroskopes *L*.

Einen ähnlichen Apparat hat Rudberg auch von Glas hergestellt, wie ihn Fig. 8 zeigt. Der innere Cylinder ist mittelst zweier durch ihn hindurchgehender Schrauben an der Messinghülse *cd* befestigt, und in letzterer ist der Kork eingesetzt, welcher die Thermometerröhre trägt. Die obere Fassung *AB*, woran *cd* fest gelöthet ist, kann bei *rr* abgeschraubt werden.

20. Der zweite Umstand, welcher bei der Bestimmung des Siedepunktes in Betracht kommt und noch berücksichtiget werden muss, ist der Luftdruck. Das Wasser siedet nämlich bei einer um so höheren Temperatur, je grösser der Luftdruck ist. Man bezieht deshalb den Siedepunkt, um übereinstimmende Thermometer zu erhalten, auf einen Normalluftdruck von 760 Millimetern oder 336 pariser Linien und es muss demnach an die beobachtete Siedetemperatur eine Correction angebracht werden, welche sich für Centesimalgrade und einen in Millimetern ausgedrückten Barometerstand aus der folgenden Tabelle entnehmen lässt.[1])

---

1) Ist die beobachtete Siedetemperatur t in Reaumur'schen Graden und der zugehörige Barometerstand b in pariser Linien gegeben, so erhält man die Correction durch die Formel

$$80^0 = t + 0^0{,}0666\,(336 - b)$$

oder sehr nahe

$$80^0 = t + \frac{1^0}{15}(336 - b).$$

Cfr. Lamont, Jahresbericht der Münchner Sternwarte für 1852, pag. 92.

Digitized by Google

Siede-Temperatur.	Luftdruck.	Siede-Temperatur.	Luftdruck.	Siede-Temperatur.	Luftdruck.
0	mm	0	mm	0	mm
97,0	682,03	98,0	707,26	99,0	733,21
97,1	684,52	98,1	709,82	99,1	735,85
97,2	687,02	98,2	712,39	99,2	738,50
97,3	689,53	98,3	714,97	99,3	741,16
97,4	692,04	98,4	717,56	99,4	743,83
97,5	694,56	98,5	720,15	99,5	746,50
97,6	697,08	98,6	722,75	99,6	749,18
97,7	699,61	98,7	725,35	99,7	751,87
97,8	702,15	98,8	727,96	99,8	754,57
97,9	704,70	98,9	730,58	99,9	757,28

21. Für vielerlei Zwecke, namentlich für meteorologische Beobachtungen ist es nicht nöthig, dass die Scala des Thermometers ganz bis zum Siedepunkt reicht. In diesen Fällen bestimmt man den Nullpunkt nach den angegebenen Regeln und erhält einen zweiten Punkt durch Vergleichung mit einem genau bekannten Instrumente, einem sogenannten Normalthermometer. Bei diesen Vergleichungen ist es zweckmässig, die beiden Thermometer nicht etwa dadurch zu vergleichen, dass man sie neben einander in der Luft aufhängt, sondern dadurch, dass man beide in ein Gefäss mit Wasser bringt, weil in diesem Falle die störenden äusseren Einflüsse weit geringer sind. Die Mediciner und Physiologen haben zu ihren Untersuchungen auch Thermometer nöthig, bei welchen weder der Siedepunkt noch der Nullpunkt angegeben zu seyn braucht, sondern welche etwa zwischen 20° und 50° C. sehr kleine Bruchtheile von Graden noch abzulesen gestatten. Die Graduirung dieser Thermometer wird dann dadurch bewerkstelligt, dass man sie bei zwei verschiedenen Temperaturen mit einem genau bekannten Normalthermometer vergleicht.

22. Man hat[1]) an einem Thermometer zweierlei Arten von Empfindlichkeit zu unterscheiden:

entweder soll das Thermometer noch sehr geringe Aenderungen der Temperatur erkennen lassen;

oder es soll sehr rasch die Temperatur der Umgebung annehmen.

In letzterer Beziehung wird ein Thermometer sehr empfindlich sein, wenn die Masse der thermometrischen Substanz sehr klein ist

1) Kunzek. Lehrbuch der Physik mit mathematischer Begründung, pag. 15.

Digitized by Google

gegen die Masse des Körpers, dessen Temperatur gemessen werden soll. Ein Thermometer wird dagegen sehr kleine Aenderungen der Temperatur noch erkennen lassen, wenn der Abstand der beiden fixen Punkte an der Scala so gross ist, dass dann eine directe Eintheilung in sehr kleine Intervalle, z. B. in Zehntel eines Grades noch bewerkstelligt werden kann. Es ist dies dann möglich, wenn die Röhre sehr eng und die Kugel sehr gross ist. Da aber grosse Kugeln für die Empfindlichkeit der zweiten Art nachtheilig sind, d. h. da sie nur sehr langsam die Temperatur der Umgebung annehmen, so sucht man die Empfindlichkeit der ersteren Art dadurch zu erreichen, dass man Röhren von möglichst geringem Durchmesser anwendet.

Thermometer mit sehr grosser Kugel kann man nur in dem Falle gebrauchen, wenn einmal die Masse des Körpers, dessen Temperatur bestimmt werden soll, sehr bedeutend ist, und wenn die Aenderungen der Temperatur in diesem Körper sehr langsam vor sich gehen, weshalb denn auch z. B. zur Bestimmung der Bodentemperatur solche Thermometer angewendet wurden.[1])

23. Verrückung des Nullpunktes. Eine merkwürdige Eigenthümlichkeit am Thermometer besteht darin, dass wenn man kurz nach der Füllung des Thermometers den Nullpunkt bestimmt und diese Bestimmung dann einige Zeit später wiederholt, dass nun das Quecksilber nicht mehr bis zu dem bei der ersten Bestimmung erhaltenen Eispunkt zurückgeht. Diese Verrückung des Nullpunktes, welche über 1 Grad steigen kann, wurde schon früher bemerkt, allein erst durch die Untersuchungen Bellani's[2]) zur Thatsache erhoben; seitdem wurde die Richtigkeit dieser Thatsache vielfach und zwar namentlich durch die Versuche von Flangergues[3]), Daniell[4]), de la Rive und Marcet[5]), Egen[6]), Rudberg[7]), Legrand[8]), Despretz[9]) und Recknagel[10]) bestätigt.

---

1) Cfr. Lamont's Annalen der Münchner Sternwarte IV. Supplementband p. 91 ff.

2) Brugnatelli Giorn. di Fis. T. XV, p. 263. Bibliothèque universelle de Genève. T. XXI, 252, 230.

3) Bibliotheque universelle. T. XX, p. 117.

4) Daniell. Meteorological Essays. London 1823. p. 368.

5) Bibliothèque universelle. T. XXII, p. 265.

6) Pogg. Ann. XI, p. 347.

7) Ibidem XL, p. 44.

8) Comptes rendus de l'Académie de Paris. 1837. I, p. 173.

9) Ibidem p. 926.

10) Recknagel. Thermometrische Versuche. München 1863. Anhang.

Digitized by Google

Man hat für die Erscheinung verschiedene Erklärungen zu geben versucht, von denen jedoch keine vielleicht ganz vollständig genügt.

Man hat dieselbe — und dieser Erklärung haben sich viele geschickte Beobachter angeschlossen — einer Verminderung des Volums der Kugel zugeschrieben, welche eine Folge des äusseren Luftdruckes sein soll, da im Thermometer ein luftleerer Raum sich befindet. Allein man hat wahrgenommen, dass auch Thermometer, welche Luft enthalten, den Ort ihres Nullpunktes verändern, wenn auch in anderer Weise wie die luftleeren.

Man hat auch geglaubt, dass das Glas, nachdem man die Kugel angeblasen und das Thermometer gefüllt hat, nur sehr langsam seinen primitiven Aggregatzustand wieder erlangt. Man stützte sich hiebei auf die Wahrnehmung, dass nach einigen Jahren der Stand des Nullpunktes constant werde, was jedoch auch noch nicht völlig constatirt ist.

Sehr merkwürdig ist die bereits von Legrand gemachte, durch die Versuche von Person bestätigte[1]) Wahrnehmung, dass wenn man Thermometer mehrere Stunden lang in ein Bad von einigen hundert Graden gebracht hatte, dass dann der Nullpunkt derselben beträchtlich steigt. Eines der Thermometer, welche Person untersuchte, zeigte so, nachdem es drei Stunden lang in einem Bade von 440° C. geblieben war, ein Steigen des Nullpunktes um 17°,2.

Wenn demnach der betrachtete Umstand auch noch nicht völlig in's Reine gebracht ist, so verdient er jedenfalls bei Temperaturbestimmungen, wo es sich um grössere Genauigkeit handelt, volle Berücksichtigung. Handelt es sich blos um die Beobachtung niederer Temperaturen, so kann man sich damit begnügen, die Bestimmung des Nullpunktes erst längere Zeit nach der Verfertigung des Thermometers vorzunehmen und seine Stellung von Zeit zu Zeit zu controlliren. Handelt es sich jedoch um Untersuchungen, bei welchen nach einander sehr hohe und sehr niedere Temperaturen beobachtet werden sollen, so unterliegt die genaue Bestimmung derselben noch grossen Unsicherheiten.

24. Correction des Calibers. Bereits im Eingange dieser Abhandlung (§. 5) wurde hervorgehoben, dass die Thermometerröhre eigentlich vollkommen cylindrisch sein soll, dass eine Röhre aber auch

---

1) Comptes rendus de l'Académie de Paris. T. XIX, p. 1314. Poggendorff's Annalen LXV, p. 371.

Digitized by Google

dann noch nicht zu verwerfen sei, wenn sie ein conisches Caliber hat.

Gay Lussac hat eine Methode angegeben, nach welcher eine Röhre von beliebigem Caliber mit einer richtigen Scala versehen werden kann. Indem er nämlich eine möglichst kurze Quecksilbersäule der Röhre entlang so verschob, dass immer das hintere Ende derselben an die Stelle zu liegen kam, an der sich vorher das vordere Ende befand, und indem er jede dieser Stellen durch einen feinen Diamantstrich bezeichnete, erhielt er die Röhre in eine gewisse Anzahl gleicher Volumina abgetheilt. Der Werth dieser gleichen Volumina in Bezug auf das ganze Volumen zwischen dem Fundamentalabstand wurde dann durch Interpolation bestimmt und in kleinere Unterabtheilungen getheilt. Diese Methode, wenn sie grössere Genauigkeit gewähren soll, setzt voraus, dass man eine Säule von nur einigen Graden — etwa 5^0 bis 10^0 Länge verschiebe, was sich jedoch bei einigermassen engen Röhren schon nicht mehr bewerkstelligen lässt.

25. Die Methoden, welche Hallström[1]), Bessel[2]), Egen[3]) und Rudberg[4]) zur Prüfung des Calibers der Thermometerröhren gegeben haben, beruhen darauf, dass man in dem schon gefüllten Thermometer einen Quecksilberfaden trennt und mittelst einer in gleiche Intervalle getheilten Scala die Länge dieses Fadens an verschiedenen Punkten der Scala ermittelt, woraus dann die Correctionen für die einzelnen Theilstriche hergeleitet werden.

26. Von diesen Methoden hat sich die Bessel'sche am meisten im Gebrauche erhalten; dieselbe beruht auf folgenden Betrachtungen.

Es sei s der Ort des Siedepunktes, e der Ort des Eispunktes am Thermometer und x sei ein beliebiger Punkt der Scala des schon fertigen Instrumentes. Jeder dieser drei Punkte bedarf dann einer Correction, welche wir beziehungsweise mit φs, φe, φx bezeichnen wollen, so dass

---

1) Anmärkningar angående termometerns färfardigande och bruck. Acad. Dissert. Abo. 1823.

2) Astronomische Beobachtungen in Königsberg. VII, p. IX. Poggend. Ann. VI, p. 287.

3) Poggend. Ann. XI, p. 530.

4) Ibidem XL, p. 568.

Digitized by Google

$e + \varphi e$ der wahre Eispunkt
$s + \varphi s$ der wahre Siedepunkt

ist. An einem hunderttheiligen Thermometer ist nun

$$[s + \varphi s - (e + \varphi e)] : 100^0 = [x + \varphi x - (e + \varphi e)] : f^0\,\mathrm{C}$$

oder an der Reaumur'schen Scala

$$[s + \varphi s - (e + \varphi e)] : 80^0 = [x + \varphi x - (e + \varphi e)] : f^0\,\mathrm{R},$$

woraus man die wahre Angabe in Graden erhält:

$$f^0\,\mathrm{C} = \frac{x + \varphi x - (e + \varphi e)}{s + \varphi s - (e + \varphi e)} \cdot 100^0$$

$$f^0\,\mathrm{R} = \frac{x + \varphi x - (e + \varphi e)}{s + \varphi s - (e + \varphi e)} \cdot 80^0.$$

Es handelt sich jetzt nur darum, die Correctionen φs, φe, φx zu bestimmen.

27. Um die Correction φx zu erhalten, trennte Bessel nach einander Quecksilberfäden von verschiedener Länge ab und calibrirte damit die Röhre, indem er das eine Ende des Fadens immer auf eine runde Anzahl von Graden, 100, 90, 80 . . . einstellte und den Ort notirte, wohin das andere Ende fiel. Bessel hat dabei an einem ausführlichen Beispiele gezeigt, wie man aus diesen Längen des Quecksilberfadens die Werthe von φx für die verschiedenen x ermitteln kann. Sehr bequem zu diesem Behufe sind die von Lamont gegebenen[1]) Vorschriften, welche im Folgenden bestehen.

Es sei eine Röhre mit regelmässig conischem Caliber gegeben und deren Scala in gleiche lange Theile eingetheilt. Betrachtet man nun einen abgerissenen Quecksilberfaden an zwei verschiedenen Stellen der Scala und sind seine Endpunkte das erste Mal beim λ_0^{ten} und $(\lambda_0 + l_0)^{\text{ten}}$, das zweite Mal beim λ_1^{ten} und $(\lambda_1 + l_1)^{\text{ten}}$ Scalentheile, so sind offenbar die Volumina des Quecksilberfadens bei beiden Beobachtungen einander gleich.

Es sei nun γ, wenn positiv, die Zunahme, wenn negativ, die Abnahme des Calibers vom Eispunkte gegen den Siedepunkt für einen Theil der Scala (eigentlich die Zu- oder Abnahme der Durchschnittsfläche des Quecksilberfadens, dieselbe am Anfange der Scala = 1 gesetzt).

---

1) Lamont. Jahrbuch der kgl. Sternwarte bei München für 1841, p. 153. — Dessen Jahresbericht der Münchner Sternwarte für 1852, p. 94.

Digitized by Google

Man erhält damit das Volumen des einen abgekürzten Conus darstellenden Quecksilberfadens, wenn man seine Länge mit dem arithmetischen Mittel der Querschnitte am Anfange und am Ende des Quecksilberfadens multiplicirt. Es ist so das Volumen für die erste Beobachtung:

$$l_0 \frac{1}{2}\left(1-(\lambda_0+l_0)\gamma+1-\lambda_0\gamma\right) = l_0\left(1-(\lambda_0+\frac{1}{2}l_0)\gamma\right)$$

und analog für die zweite Beobachtung das Volumen des Fadens

$$= l_1\left(1-(\lambda_1+\frac{1}{2}l_1)\gamma\right).$$

Da nun in beiden Fällen das Volumen das gleiche ist, so hat man:

$$l_0-\left(\lambda_0 l_0+\frac{1}{2}l_0^2\right)\gamma = l_1-\left(\lambda_1 l_1+\frac{1}{2}l_1^2\right)\gamma$$

und daraus

$$\gamma = \frac{l_1-l_0}{\lambda_1 l_1-\lambda_0 l_0+\frac{1}{2}(l_1^2-l_0^2)}$$

$$= \frac{l_1-l_0}{\lambda_1 l_1-\lambda_0 l_0+\frac{1}{2}(l_1+l_0)(l_1-l_0)}$$

Diese Formel gilt für den Fall, dass das Caliber vom Eispunkte gegen den Siedepunkt hin abnimmt, dass sich also jeder Grad zum nächstfolgenden verhält wie $1 : 1-\gamma$. Nimmt dagegen das Caliber vom Eispunkte angefangen gegen den Siedepunkt hin zu oder verhält sich jeder Grad zum nächstfolgenden wie $1 : 1+\gamma$, so ist

$$\gamma = \frac{l_1-l_0}{\lambda_0 l_0-\lambda_1 l_1+\frac{1}{2}(l_0-l_1)(l_0+l_1)}.$$

Setzt man jetzt für den ersteren Fall, wobei jeder Grad zum nächstfolgenden sich wie $1 : 1-\gamma$ verhält, die Länge des ersten Grades $= L$, so hat man die folgende arithmetische Reihe:

0^0	bis 1^0	L
1	„ 2	$L(1-\gamma)$
2	„ 3	$L(1-2\gamma)$
3	„ 4	$L(1-3\gamma)$
	. . . . .	
$n-1$	„ n	$L(1-(n-1)\gamma)$

und durch Summation

Digitized by Google

$$0^0 \text{ bis } n^0 \ldots L + L(1-\gamma) + L(1-2\gamma) + \ldots + L(1-(n-1)\gamma)$$
$$= nL\left(1 - \frac{1}{2}(n-1)\gamma\right) \quad \ldots \quad \text{(A)}$$

Da nun der Fundamentalabstand beim Celsius'schen Thermometer in 100, beim Reaumur'schen Thermometer in 80 gleich grosse Scalentheile (Scalengrade) eingetheilt ist, da aber auch der gleiche Zwischenraum 100 und beziehungsweise 80 wahre Grade oder

$$L100\left(1 - \frac{1}{2}(100-1)\gamma\right) \text{ beim Cels. Therm.}$$

$$L80\left(1 - \frac{1}{2}(80-1)\gamma\right) \text{ beim Reaum. Therm.}$$

beträgt, so hat man

$$100L\left(1 - \frac{1}{2}(100-1)\gamma\right) = 100 \text{ Scalentheile bei der Cels. Scala}$$

$$80L\left(1 - \frac{1}{2}(80-1)\gamma\right) = 80 \text{ Scalentheile bei der Reaum. Scala}$$

und also

$$L = \frac{1}{1 - \frac{1}{2}(100-1)\gamma} \text{ Scalentheile. C. Sc.}$$

$$L = \frac{1}{1 - \frac{1}{2}(80-1)\gamma} \text{ Scalentheile. R. Sc.}$$

Wir haben also den Werth von L jetzt in Scalentheilen ausgedrückt; setzen wir diesen Werth in den Ausdruck (A) ein, so ergibt sich:

$$0^0 \text{ bis } n^0 \text{ C} = n\,\frac{1 - \frac{1}{2}(n-1)\gamma}{1 - \frac{1}{2}(100-1)\gamma} \text{ Scalentheile}$$

$$0^0 \text{ bis } n^0 \text{ R} = n\,\frac{1 - \frac{1}{2}(n-1)\gamma}{1 - \frac{1}{2}(80-1)\gamma} \text{ Scalentheile.}$$

Entwickelt man nun diesen Bruch in eine Reihe und nimmt man dabei blos die erste Potenz von γ noch mit, so wird:

$$n^0 \text{ C} = n\left(1 + \frac{1}{2}(100-n)\gamma\right) \text{ Scalentheile}$$

$$n^0 \text{ R} = n\left(1 + \frac{1}{2}(80-n)\gamma\right) \text{ Scalentheile,}$$

Digitized by Google

oder wenn man den Factor des zweiten Gliedes versetzt

$$n \text{ Scalentheile} = n - \frac{1}{2} n(100 - n)\gamma \text{ Grade Cels.}$$

$$= n - \frac{1}{2} n(80 - n)\gamma \text{ Grade Reaum.}$$

Zeigt also das Ende des Quecksilberfadens auf den n^{ten} Theilstrich der Scala, so muss man, um die wahre Temperatur zu erhalten, zu der abgelesenen Zahl n die Correction

$$-\frac{1}{2} n(100 - n)\gamma \text{ bei der Cels. Scala,}$$

$$-\frac{1}{2} n(80 - n)\gamma \text{ bei der Reaum. Scala}$$

hinzufügen.

In der folgenden Tafel ist der Werth dieser Correction von 5 zu 5 Graden berechnet:

Grade Celsius	$-\frac{1}{2} n(100-n)$	Grade Reaumur	$-\frac{1}{2} n(80-n)$
− 40°	+ 2800,0		
35	2362,5		
30	1950,0	− 30°	+ 1650,0
25	1562,5	25	1312,5
20	1200,0	20	1000,0
15	862,5	15	712,5
10	550,0	10	450,0
5	+ 262,5	5	+ 212,5
∓ 0	+ 0,0	∓ 0	± 0,0
5	− 237,5	5	− 187,5
10	450,0	10	350,0
15	637,5	15	487,5
20	800,0	20	600,0
25	937,5	25	687,5
30	1050,0	30	750,0
35	1137,5	35	787,5
40	1200,0	40	800,0
45	1237,5	45	787,5
50	1250,0	50	750,0
55	1237,5	55	687,5
60	1200,0	60	600,0
65	1137,5	65	487,5
70	1050,0	70	350,0
75	937,5	75	− 187,5
80	800,0	+ 80	− 0,0
85	637,5		
90	450,0		
95	− 237,5		
+ 100	− 0,0		

Digitized by Google

28. Bei den vorhergehenden Betrachtungen wurde ein regelmässig conisches Caliber vorausgesetzt; eine analoge, aber umständlichere Methode würde auch für den Fall zum Ziele führen, dass das Caliber des Rohres ein unregelmässiges, d. h. bald zu- bald abnehmendes sei. Es ist jedoch so leicht, Glasröhren von gleichem oder regelmässig conischem Caliber zu erhalten, dass man ein unregelmässiges Rohr nie zu besseren Thermometern anwenden sollte.

Die angeführte Untersuchung wird an einer in gleiche Intervalle eingetheilten Scala vorgenommen. Man kann dann entweder zu dieser Scala selbst eine Correctionstabelle anfertigen und sogleich das Thermometer benützen; oder man betrachtet diese Scala vorerst blos als eine Hilfsscala und theilt nach der Untersuchung die eigentliche Scala mit ungleichen Graden, so dass die Correctionen unmittelbar in die Theilung mit eingerechnet werden.[1]) Berücksichtiget man dabei aber noch den bereits in §. 23 erörterten Umstand der Verrückung des Nullpunktes, so ergibt sich, dass eine willkürliche Scala die zweckmässigste ist, weil sich eben eine wahre Scale nicht herstellen lässt.

29. Nach der Rudberg'schen Calibrirungsmethode wird das Volumen der Röhre zwischen dem Fundamentalabstande in 2, 3, 6, 12, 24, 48 . . gleiche Theile dadurch getheilt, dass man Quecksilberfäden abtrennt, deren Länge möglichst nahe $\frac{1}{2}$, $\frac{1}{3}$, $\frac{5}{12}$, $\frac{11}{24}$, $\frac{23}{48}$ . . . der ganzen Länge zwischen 0° und 100° beträgt. Es sei nämlich z. B. ein Faden abgetrennt, welcher möglichst gleich der Hälfte der Röhrenlänge

---

1) Um die richtige Theilung auf der definitiven Scala auftragen zu können, muss man die Längen in Umgänge der Schraube an der Theilmaschine verwandeln. Nun haben wir gesehen, dass

$$n\,\text{Grade} = n\left(1 + \frac{1}{2}\left(\frac{80}{100} - n\right)\gamma\right)\,\text{Scalentheile}$$

oder, wenn L die Länge eines mittleren Grades in Scalentheilen (d. h. der Fundamentalabstand dividirt durch 80 oder 100) bedeutet:

$$n\,\text{Grade} = nL + n\left(\frac{40}{50} - \frac{1}{2}n\right)L^2\gamma\,\text{Scalentheile}$$

ist. Es betrage demnach ein Scalentheil $= \varepsilon$ Schraubenumgänge, ferner setze man $\varepsilon L = \lambda$ (d. h. der Länge eines mittleren Grades in Schraubenumgängen) und

$$\frac{\lambda^2\gamma}{\varepsilon} = \gamma'.$$

so hat man die Entfernung des n^{ten} Grades vom Eispunkte an in Schraubenumgängen

$$= n\lambda + n\left(\frac{40}{50} - \frac{1}{2}n\right)\gamma'.$$

Digitized by Google

zwischen 0 und 100 ist. Stellt man nun das untere Ende dieses Fadens auf 0 ein und notirt man den Theilstrich (der in gleiche Intervalle getheilten Scala), auf welchen das obere Ende fällt, stellt man hierauf das obere Ende des Fadens auf den Punkt 100 und notirt man den Stand des unteren Endes, so liegt der 50te Grad in der Mitte der beiden notirten Stände, wenn das Caliber der Röhre rein conisch oder selbst wenn es nur nicht ganz unregelmässig ist. Trennt man dann einen Faden von $\frac{1}{3}$ der Länge zwischen dem Fundamentalabstande, so kann man durch Einstellen des unteren Endes auf 0 und dann auf den Punkt, wohin das obere Ende fiel (wodurch man also die Länge von 0 an verdoppelt), sowie durch Einstellen des oberen Endes auf 100 den dritten Theil des Volums der Röhre zwischen dem Fundamentalabstande bestimmen u. s. w.

30. Bessel und Rudberg haben den Quecksilberfaden dadurch getrennt, dass sie das Thermometerrohr über einer Flamme an der Stelle erwärmten, an welcher eben der Faden abreissen sollte. Lamont[1]) hat zu diesem Behufe die folgende Vorschrift gegeben:

„Man kehre das Thermometer um, so dass die Kugel oben sei, und klopfe, wenn das Quecksilber nicht gleich in das Rohr hinuntergeht, wiederholt auf die Scala, bis das Quecksilber das Rohr ausfüllt, und eine Blase in der Kugel entsteht. Man stelle alsdann schnell das Thermometer senkrecht, so läuft die Blase (indem sie immer die höchste Stelle in der Kugel einzunehmen sucht) hinauf bis an die Stelle, wo das Rohr in die Kugel einmündet, und verschwindet da, indem das Quecksilber aus dem Rohre herabfällt. Man klopfe nun ein wenig an die Scala und kehre das obere Ende des Thermometers abwärts, so wird die im Rohre befindliche Säule sich von dem Quecksilber der Kugel trennen und in das Rohr hinabfallen. Ist das Rohr sehr eng, so bewegt sich die Säule nicht anders als durch ziemlich starkes Klopfen. Die Trennung der Säule wird nur dadurch bewerkstelligt, dass die Blase an der Einmündung des Thermometerrohres verschwinde: und hierauf ist bei der Manipulation vorzugsweise Rücksicht zu nehmen."

Nach der Untersuchung des Calibers ist es nöthig, den getrennten Theil des Quecksilbers mit der übrigen Säule wieder vollkommen zu

1) Lamont, Jahrbuch der kgl. Sternwarte bei München für 1811. pag. 152.

Digitized by Google

vereinigen. Unterlässt man dies und begnügt man sich etwa damit, das Thermometer senkrecht aufzuhängen, so dass die getrennte Quecksilbersäule herabfällt und mit dem übrigen Quecksilber sich scheinbar vereinigt, so entsteht mit der Zeit an dem Orte der Verbindung ein kleiner Zwischenraum von ein bis zwei Zehntel einer pariser Linie, welcher nur mit Mühe wieder weggebracht werden kann.

Dies wären die Punkte, welche bei der Construction von Flüssigkeitsthermometern in Betracht kommen. Man hat jedoch die angeführte Einrichtung für bestimmte Zwecke z. B. um die höchste oder niedrigste Temperatur der Luft in einem bestimmten Zeitintervalle zu erhalten, vielfach abgeändert. Wir werden auf diese Einrichtungen in einer weiteren Abhandlung zurückkommen.

Digitized by Google

Ueber die Herstellung von Metallspiegeln.

Von

G. Quincke.

(Aus Poggendorff's Annalen 1866 Nr. 9.)

(Dazu Figur 9 — 12 auf Tafel XXXIV.)

Bei vielen optischen Untersuchungen ist es wünschenswerth, Metallspiegel benutzen zu können wegen der Intensität und der übrigen Eigenschaften des von ihnen reflectirten Lichtes. Besonders eignet sich das Silber zu solchen Metallspiegeln, weil man dieselben auf Glasplatten beliebiger Form leicht herstellen und poliren kann. Es sind daher schon seit längerer Zeit eine Reihe von Methoden zur Anfertigung von Silberspiegeln angegeben worden, zumal die Technik sich von der Möglichkeit, auch krumme Glasflächen und Tafelglas mit Spiegelbelegung versehen zu können, grosse Vortheile versprach.

Wenn die grossen Erwartungen, die an die Belegung des Glases mit Silber geknüpft worden, nicht in Erfüllung gegangen sind, und man fast überall wieder zu der alten Belegung mit Quecksilber und Zinnfolie zurückgekehrt ist, so liegt der Grund nach den Erfahrungen, welche ich seit dem Jahre 1858 darüber gemacht habe, einestheils in der Schwierigkeit, die Glasplatten zu reinigen, welche belegt werden sollen, und anderntheils in einer Aenderung der molecularen Beschaffenheit des Silbers, wodurch dieses die Fähigkeit verliert, das Licht stark zu reflectiren. Zu diesen Uebelständen kommt, wenn die Silberbelegung einer Spiegelglasplatte polirt und als ebener Metallspiegel benutzt wird, noch der, dass in freier Luft Schwefelwasserstoff und andere Verunreinigungen der Atmosphäre die Metalloberfläche verändern und sich besonders am Rande sehr schöne Farben dünner Blättchen auf dem Metallspiegel wahrnehmen lassen.

Das Silber lässt sich, wenn nur die am Glase anliegende Seite benutzt werden soll, durch einen Firniss vor dem Einfluss dieser

Digitized by Google

chemischen Veränderungen schützen, und die Spiegel halten dann länger als die mit freier Metallbelegung. Meist wird aber nach genügend langer Zeit auch bei diesen gefirnissten Spiegeln eine Veränderung eintreten, indem an einzelnen Punkten die spiegelnde Fläche grau wird, und von hier aus die matte graue Stelle sich allmählig, meist strahlenförmig, weiter ausbreitet. Dergleichen Aenderungen der festen metallischen Belegungen kommen bei allen Metallen, die ich untersucht habe, vor, und man wird daher niemals aus festen Metallen Spiegelbelegungen herstellen können, die lange Zeit hindurch sich halten. Die Technik ist schon früh auf den Ausweg verfallen, eine Flüssigkeit, die dünne Quecksilberschicht zwischen Glas und Zinnfolie, als Spiegelbelegung anzuwenden. Bei dieser Flüssigkeit kommen zwar auch Molecular-Aenderungen vor, aber sie verschwinden ebenso leicht, wie sie entstehen, und die Belegung bewahrt stets in nahezu gleichem Maasse die Fähigkeit, das Licht zu reflectiren.

Für wissenschaftliche Zwecke ist in vielen Fällen diese Veränderlichkeit der festen Metallspiegel ohne Bedeutung, sobald man Mittel hat, sie wahrzunehmen und mit Leichtigkeit den alten Metallspiegel durch einen neuen zu ersetzen.

Ich werde im Folgenden die von mir wiederholt angewandten Methoden beschreiben, mit denen ich Silberspiegel dargestellt habe, und dabei ihre Vorzüge und Mängel erwähnen. Mir selbst, wie manchem meiner Freunde, sind Versuche missglückt, wenn wir einzelne Kleinigkeiten nicht beachteten; ich bitte daher zu entschuldigen, wenn ich an manchen Stellen zu ausführlich scheinen sollte.

Die haltbarsten Spiegel liefert die Methode von Petitjean, die auch Faraday[1]) benutzt und empfohlen hat.

Man löse in einem kleinen Becherglas 1 Gramm geschmolzenes salpetersaures Silberoxyd in 0,7 Gramm starker, ätzender Ammoniakflüssigkeit auf. Sollte, was fast immer der Fall sein wird, diese Ammoniakmenge nicht genügen, so wird tropfenweise und sehr vorsichtig noch soviel Ammoniakflüssigkeit hinzugefügt, bis eine klare Lösung entsteht. Die Flüssigkeit darf aber durchaus nicht nach Ammoniak riechen und man darf sich daher nicht durch eine geringe Trübung, die von einer Verunreinigung mit einem Chlorsalz herrühren kann, verleiten lassen, zuviel Ammoniak zuzusetzen. Je sorgfältiger

[1]) Pogg. Annal. Bd. 101. 1857. S. 314.

Digitized by Google

dieser Zusatz von Ammoniak geschieht, um so schneller und besser bilden sich die Silberspiegel.

Zu der ammoniakalischen Silberlösung setzt man dann 0,11 Gramm krystallisirte Weinsteinsäure in etwa $^1/_2$ Cubikcentim. Wasser gelöst, indem man die Flüssigkeit mit einem Glasstabe fortwährend umrührt, um dadurch den entstehenden weissen Niederschlag möglichst zu zerkleinern. Auf diese Flüssigkeit giesst man nach und nach in kleinen Portionen 50 Cubikcentim. destillirtes Wasser auf, lässt den weissen Niederschlag absetzen und giesst die klare Lösung von diesem ab.

Statt dessen kann man auch, und das ist meist bequemer, in einer Glasflasche mit eingeriebenem Glasstöpsel den Niederschlag mit destillirtem Wasser schütteln, und dadurch möglichst auflösen. Ich benutze gewöhnlich Glasflaschen, auf denen durch Diamantstriche Volumentheile von 10 oder 50 Cubikcentim. abgetheilt sind, je nach der ganzen Menge der Silberlösung, die man auf einmal darstellt. Sie haben den Vortheil, die verbrauchte Silbermenge sofort übersehen zu lassen.

Der ungelöste Theil des Niederschlages muss sich schnell zu Boden setzen und die Flüssigkeit ganz klar oder durchscheinend aussehen. Sie bräunt sich nach wenigen Minuten, besonders bei Einwirkung des Tageslichtes. Filtriren einer Flüssigkeit, aus der sich Silber absetzen soll, ist zu vermeiden, weil sich sonst Silber abscheidet, das sich nicht poliren lässt.

Diese Versilberungsflüssigkeit bringt man in Berührung mit den Glasflächen, die man versilbern will. Aus ihr scheidet sich schon in der Kälte Silber ab, so dass nach einer halben Stunde der Spiegel vollendet ist, wenn nicht zuviel Ammoniak bei der Bereitung der Lösung angewandt wurde. Uebrigens kann die Abscheidung des Silbers, wenn man nicht gar zu viel Ammoniak angewandt hat, auch noch nach 12 Stunden und länger erfolgen und fehlerfreie Spiegel liefern.

Die Abscheidung des Silbers wird durch schwaches Erwärmen auf 40° bis 50° beschleunigt; sie geht um so schneller und leichter vor sich, je reiner die Glasfläche war und je weniger Luft an derselben haftete. Je nach der Länge der Zeit, während deren man das Silber sich hat absetzen lassen, enthält die Flüssigkeit noch 10 bis 50 Proc. der ursprünglichen Silbermenge.

Das Putzen der Glasflächen ist eigentlich die schwierigste Operation bei diesen Silberbelegungen, um so mehr, als alle Unregelmässigkeiten der Oberflächenbeschaffenheit sich in dem Silberniederschlage beim

Digitized by Google

Poliren desselben bemerkbar machen. Tafelglas lässt sich aus diesem Grunde gewöhnlich leichter und schneller belegen als Spiegelglas und dieses letztere um so leichter, je kürzere Zeit seit dem Poliren der Spiegelplatten verflossen ist, je weniger Gas und Feuchtigkeit von der Oberfläche des Glases absorbirt worden ist. Sogenannte weiche Gläser, die viel Natron enthalten, hygroskopisch sind und sich leicht an der Oberfläche verändern, lassen sich nur schlecht, ja oft gar nicht, mit Silber belegen. Das abgeschiedene Pulver sieht wolkig, matt und unrein aus, und löst sich sofort vom Glase ab, wenn man es zu poliren versucht. Solche Gläser sind ganz zu verwerfen, da es billiger und einfacher ist, neue Gläser zu belegen als die alten neu poliren zu lassen auf die Gefahr hin, sie doch bald wieder verdorben zu sehen.

Möglicherweise wirkt ein Kochsalzgehalt des Glases dabei mit, da ich durch besondere Versuche gefunden habe, dass ein Gehalt von einem Milliontel Chlor (Kochsalz) in der Versilberungsflüssigkeit schon hinreicht, das niedergeschlagene Silber zum Poliren untauglich zu machen. Aus diesem Grunde gelingt auch die Belegung der Spiegel im Grossen meist leichter, als die im Kleinen für wissenschaftliche Zwecke, da die Verunreinigung durch die Glasoberfläche der Gefässe, in welchen man die Versilberungsflüssigkeit bereitet, weniger Einfluss auf grössere wie auf kleinere Flüssigkeits-Mengen hat. Bei allen Operationen ist daher auf äusserste Sauberkeit zu sehen, und die Hände müssen von dem Schweisse, mit dem sie sich beim Abreiben der Glasplatten leicht bedecken, durch Waschen mit Seife gereinigt werden.

Grosse Glasplatten werden zunächst wie in den Spiegelmanufacturen durch Reiben mit Leinwandballen und Polirpulver gewonnen. Kleinere Gläser wasche ich mit Alkohol und destillirtem Wasser oder lasse sie längere Zeit in Alkohol liegen, worauf sie mit einem reinen leinenen Tuche abgetrocknet werden.

Diese Operation muss vor der Bereitung der Silberlösung vorgenommen worden sein. Gleich nach Bereitung der Silberlösung giesst man einige Cubikcentimeter derselben in ein Uhrglas, taucht einen Leinwandlappen in dieselbe, und dann in etwas Pariser Roth (geschlemmtes Eisenoxyd) und reibt damit die ganze Glasfläche, welche belegt werden soll, ein. Nach 1 oder 2 Minuten, wenn diese Masse angetrocknet ist, wird sie durch Reiben mit einem neuen Leinwandlappen entfernt. Dabei ist es vortheilhaft, die Glasfläche stark zu reiben, und die ganze Fläche mit derselben Stelle des Leinwand-

Digitized by Google

lappens trocken zu putzen, so dass beim Behauchen der Wasserdampf sich in einer gleichmässigen Schicht auf der Platte niederschlägt, und womöglich beim Verdampfen die Farben dünner Blättchen zeigt.

Das Putzen mit Silberlösung und Polirpulver geschieht auf einem ebenen Holzbrett (Fig. 9 Taf. XXXIV), in dessen einer Ecke zwei Holzleisten von 1 mm bis 2 mm Dicke befestigt sind. Die Glasplatte wird mit der Ecke in den von beiden Holzleisten gebildeten rechten Winkel hineingeschoben und durch ein Brettchen mit passendem Ausschnitt, von gleicher Dicke wie die Holzleisten, darin festgehalten. Die zum Putzen bestimmten Leinwandlappen pflege ich in halber Länge auf das Ende viereckiger Brettchen von 150 mm Länge, 20 mm Breite und 2 oder 3 mm Dicke aufzuwickeln, umzuschlagen und mit etwas Bindfaden fest zu binden. Man hat darauf zu sehen, dass die Kante des Brettchens von etwa sechs Lagen Leinwand ohne Falten bedeckt ist, und also einen Ballen bildet, der auf der ganzen Breite von 20 mm an der Glasfläche anliegt (vergl. Fig. 10 Taf. XXXIV).

Die zu versilbernde Glasfläche muss man, wenn die Silberfläche polirt werden soll, in der Weise horizontal mit der Versilberungsflüssigkeit in Berührung bringen, dass sich von unten das Silber an der Glasfläche absetzt. Dann fallen nämlich die Staubtheilchen, welche immer in der Versilberungsflüssigkeit vorhanden sind, und beim Putzen auf der Glasfläche zurückbleiben, zu Boden, und es scheidet sich reines Silber auf der Glasfläche ab. Lässt man dagegen das Silber sich nach unten absetzen, so wird zwar die Silberschicht im Allgemeinen dicker, aber beim Poliren reissen die darin eingebetteten Staubtheilchen leicht Löcher in dieselbe ein.

Ferner scheinen sich die kleinsten Silbertheilchen vorzugsweise und schneller nach oben, als nach unten auf ebene Glasflächen abzusetzen. Aus je kleineren Silberflöckchen sich die Silberschicht gebildet hat, um so leichter haften schon dünne Schichten desselben am Glase und um so leichter lassen sie sich poliren. Oft habe ich auch bemerkt, dass die blosse Gegenwart der Glasfläche (ähnlich wie die einer Contact-Substanz) auf die Beschaffenheit des abgeschiedenen Silbers von Einfluss ist. Je schneller die Abscheidung erfolgt und je kleiner die abgeschiedenen Theilchen sind, um so mehr besteht das abgeschiedene Silber aus der mit blauer Farbe durchsichtigen und gleichzeitig undurchsichtigsten Modification.

Kommt es, wie in den meisten Fällen, nicht darauf an, dass die

Digitized by Google

Silberschicht gleichförmig dick wird, so ist es am bequemsten, die Glasplatte mit der geputzten Seite nach unten in ein Uhrglas zu legen, und soviel Versilberungsflüssigkeit hineinzugiessen, dass dieselbe in gleicher Höhe mit der Glasplatte steht.

Soll die Silberschicht gleichmässig dick sein, so muss auch die Flüssigkeit, aus der sich das Silber absetzt, an allen Stellen eine nahezu gleiche Dicke haben, oder doch eine Dicke von mehreren Millimetern besitzen.

In diesem Falle befestige ich in der Mitte kleinerer Glasplatten mit Colophoniumkitt (3 bis 4 Theile Colophonium und 1 Theil Wachs zusammengeschmolzen) einen Haken aus weichem Kupfer- oder Messingdraht, wie die Fig. 11 Taf. XXXIV zeigt; die geputzte Glasfläche hängt dann nahezu horizontal und kann durch Biegen an dem Drahthaken leicht vollständig gerichtet werden, was sich am besten an ihrem Spiegelbild in einer darunterstehenden horizontalen Flüssigkeitsschicht beurtheilen lässt. Die an dem Drahthaken aufgehangene Glasplatte wird so lange gesenkt, bis ihre untere Fläche mit der Versilberungsflüssigkeit von 5 mm oder mehr Tiefe in Berührung kommt. Der capillare Flüssigkeits-Meniskus kehrt dabei, während sich die Flüssigkeit an der unteren Glasfläche entlang zieht, die etwa an dieser oder an der Flüssigkeitsoberfläche haftenden Staubtheilchen fort.

Diese Methoden sind zwar für kleinere Glasplatten (Magnetometer oder Sextanten-Spiegel) bequem, aber bei grösseren Platten unbrauchbar, weil die grossen flachen Gefässe fehlen, in denen die Versilberungsflüssigkeit enthalten sein musste. Diesen Uebelstand umgehe ich durch eine Methode, welche gestattet, stets zwei Spiegel auf einmal mit der kleinsten Menge Versilberungsflüssigkeit darzustellen, die man überhaupt anwenden darf.

Man legt nämlich zwei gleich grosse Glasplatten, die in der oben beschriebenen Weise mit Versilberungsflüssigkeit geputzt worden sind, horizontal übereinander, so dass sie ihre geputzten Flächen einander zuwenden. Durch einen hufeisenförmig gebogenen Glasfaden mit Kugeln an den Enden und in der Mitte[1]) oder durch einige am Rande angebrachte Stückchen Spiegelglas von 1,5 mm bis 2,5 mm Dicke und Breite werden die Glasplatten von einander getrennt gehalten. In den Zwischenraum zwischen den Glasplatten wird nun die Versilberungs-

1) Pogg. Ann. Bd. 104. 1858. S. 42 und Fig. 10 Taf. I.

Digitized by Google

flüssigkeit hineingegossen, und bei einiger Vorsicht und Uebung hat es durchaus keine Schwierigkeit, den ganzen Raum ohne Luftblasen mit derselben auszufüllen. Der capillare Flüssigkeits-Meniskus am Rande verhindert das Abfliessen der Flüssigkeit. Bei grossen Spiegelglasplatten von 1 m Länge und 0,5 m Breite habe ich es nöthig gefunden, nicht nur an die vier Ecken, sondern auch am Rande kleine Spiegelglasstückchen unterzulegen, weil sonst durch die Capillarität der zwischen beide benetzte Glasflächen gebrachten Flüssigkeit beide Platten mit grosser Kraft gegeneinander gezogen werden, sich in der Mitte wegen ihrer grossen Elasticität durchbiegen und berühren.

Bei noch grösseren Platten, die sich noch mehr durchbiegen, kann daher möglicher Weise diese Methode unvortheilhaft sein.

Diese geringe Durchbiegung der Platten trägt übrigens wesentlich dazu bei, die Bildung von Luftblasen in dem Raume zwischen beiden Glasplatten, sowie das Abfliessen der Flüssigkeit zu verhindern, indem die Versilberungsflüssigkeit zunächst in der Mitte der Platten, wo diese einander am nächsten stehen, sich ansammelt und von hier aus nach den Rändern zu verbreitet.

Diese zuletzt beschriebene Methode liefert auf der oberen Glasplatte einen Silberüberzug, der sich leicht poliren lässt; auf der unteren Glasplatte dagegen eine dickere Silberschicht, die auf der Glasseite sehr gut spiegelt, auf der Rückseite jedoch matt aussieht und nur in seltenen Fällen Politur annimmt, ohne Löcher zu bekommen.

Beiläufig will ich hier noch bemerken, dass sich an verticalen und krummen Glasflächen Silber und andere auf ähnliche Weise aus Flüssigkeiten abgeschiedene Metalle weit leichter absetzen und fester haften, als an horizontalen und ebenen Glasflächen. Daher kommt es, dass eine Methode in einem Probirröhrchen ganz gute Resultate gibt, und doch für die Belegung ebener Glasflächen, besonders wenn das Metall später polirt werden soll, nicht zu brauchen ist.

Nachdem sich das Silber in genügender, durch die Erfahrung gegebener, Dicke abgesetzt hat, giesst man die Versilberungsflüssigkeit ab, wäscht die Oberfläche mit destillirtem Wasser, und stellt die Flächen nahe vertical vor Staub geschützt auf. Gewöhnlich lehne ich sie an eine Holzwand mit der belegten Seite nach unten. Wenn die letzten Tropfen Wasser verdampft sind, wird die Platte über einer reinen Gas- oder Alkoholflamme, oder noch besser in einem heissen Luftstrom oder in der Ofenröhre getrocknet, um die letzten Spuren

Digitized by Google

Wasser zu entfernen. Dadurch haftet der Silberüberzug fester am Glase. Das Silber sieht bei dünnen durchsichtigen Schichten meist polirt aus. Bei dickeren Schichten erscheint es mit einem matten Hauch überzogen und es genügt Reiben mit einem weichen Leder, um eine sehr vollkommene Politur herzustellen. Ich pflege auf ein handgrosses Stück Ziegen- oder Rehleder, wie man es beim Handschuhmacher kauft, einen dicken Ballen reiner Baumwolle (ohne Knötchen) zu legen und über diesem das Leder zusammenzubinden. Auf die untere Seite des Lederballens bringt man ein wenig Pariser Roth, welches jedoch sehr gut geschlemmt sein muss, um nicht beim Poliren Risse in die Silberbelegung zu reissen. Man thut gut, zuerst mit jedem neuen Lederballen eine alte grössere polirte Silberfläche zu poliren, ehe man denselben für fehlerfreie Silberflächen benutzt. Das Poliren geschieht am Bequemsten auf dem oben beschriebenen Putzbrett (Fig. 9 Taf. XXXIV).

Ich pflege grössere Spiegelglasplatten von 140^{mm} und 200^{mm} Seite zu belegen und zu poliren. Auf diesen grösseren Platten wird dann von der Silberseite her mit dem Diamant ein Schnitt gemacht, die Platte mit zwei reinen Lederstückchen gefasst und auseinander gebrochen. In dieser Weise kann man leicht Silberspiegel von passender Form und Grösse herstellen.

Zu dünne Silberschichten bekommen beim Poliren Risse; dicke Schichten poliren sich schwerer, halten aber länger und können viele Male aufpolirt werden. Ich benutze als einfachen Heliostaten einen Silberspiegel, der wohl schon 150 Mal aufpolirt worden ist.

Die Glassorte, auf der das Silber niedergeschlagen worden, ist dabei nicht ohne Einfluss. Am besten eignet sich grünes Spiegelglas dazu, das ich der Güte meines Freundes Dr. Friedrich Koch (Glashütte Grünenplan bei Naensen, Herzogthum Braunschweig) verdanke. Auf französischen Gläsern pflegen die Silberspiegel allmählig zu verderben, wie es scheint, weil diese Gläser besonders hygroskopisch sind.

Ueberhaupt ist dieser Silberniederschlag sehr geeignet, die Oberflächenbeschaffenheit der Gläser und die Leichtigkeit, mit der sie Wasser aus der Luft condensiren, erkennen zu lassen. Nach meiner Erfahrung, und ich habe sowohl Flintglas als Spiegelglas aus den verschiedensten Fabriken und Ländern in dieser Beziehung zu untersuchen Gelegenheit gehabt, gibt es keine einzige Glasart, welche nicht hygroskopissh wäre.

Digitized by Google

Die beschriebene Methode von Petitjean, eine Versilberungsflüssigkeit zu bereiten, hat den Uebelstand, dass sehr dünne Silberschichten sich schwer poliren lassen, leicht Risse bekommen, und mit grauer Farbe durchsichtig sind. Dazu kommt, dass man die ganze Versilberungsflüssigkeit jedes Mal vor dem Gebrauche frisch bereiten muss. Weniger zeitraubend sind daher die Methoden, bei welchen man aus zwei leicht aufzubewahrenden Flüssigkeiten jeden Augenblick durch Zusammengiessen eine Versilberungsflüssigkeit herstellen kann. Das Verfahren, die Gläser zu putzen und die Silberschicht zu poliren, bleibt dasselbe.

Nach v. Liebig[1]) löst man 1 Gramm geschmolzenes salpetersaures Silberoxyd in ätzender Ammoniakflüssigkeit und destillirtem Wasser auf, bis man 20 Cubikcentim. einer klaren Lösung erhält. Hierzu fügt man 45 Cubikcentim. einer stark verdünnten Natronlauge von 1,035 spec. Gew. und bringt den entstehenden schwarzen Niederschlag durch weiteren Zusatz von Ammoniak zum Verschwinden. Die mit destillirtem Wasser auf ein Volumen von 145 bis 150 Cubikcentim. gebrachte Flüssigkeit wird tropfenweise mit einer Auflösung von salpetersaurem Silberoxyd versetzt, bis ein starker grauer Niederschlag entsteht, den man sich absetzen lässt.

Von der abgegossenen klaren Lösung mischt man eine passende Menge mit $^1/_{10}$ bis $^1/_8$ ihres Volumens einer Milchzuckerlösung von 1 Theil Milchzucker in 10 Theilen Wasser. Dieses Gemisch ist die Versilberungsflüssigkeit, aus der sich schon in der Kälte Silber abscheidet.

Diese Methode ist wegen der Billigkeit (der Silbergehalt ist etwa nur $^1/_3$ von dem der Petitjean'schen Versilberungsflüssigkeit) und der leichten Anwendbarkeit sehr zu empfehlen; die Silberschichten lassen sich ebenso leicht oder leichter als bei jener Petitjean'schen Methode poliren, haften aber schlechter am Glase und verderben schneller. Dazu kommt, dass das Silber in dünnen Schichten manchmal mit blauer, manchmal mit grauer Farbe durchsichtig ist, sich also in verschiedenen Modificationen abscheidet, die man nicht in der Hand hat. Je reiner die Natronlösung, je weniger Chlor und Kohlensäure sie enthält, um so besser ist der Silberniederschlag.

In neuester Zeit habe ich mit vielem Erfolg ein Verfahren

1) Ann. der Chem. u. Pharm. Bd. 98, 1856, S. 132.

Digitized by Google

von Martin[1]) benutzt, welches die mit blauer Farbe durchsichtige Modification des Silbers am sichersten abzuscheiden scheint, obwohl ich darüber nicht so viele Erfahrungen wie über die Petitjean'sche und von Liebig'sche Methode habe.

Man versetzt 1 Gramm geschmolzenes salpetersaures Silberoxyd mit 0,7 Gramm oder mehr ätzender Ammoniakflüssigkeit, bis eine klare Lösung erhalten wird. Zu dieser fügt man unter Umschütteln 19 Cubikcentim. einer reinen Natronlösung vom spec. Gewicht 1,035, bringt die ganze Flüssigkeit auf ein Volumen von 80 bis 85 Cubikcentim. und lässt dieselbe 24 Stunden stehen, um den entstandenen Niederschlag sich absetzen zu lassen. Sollte dieser Niederschlag nicht vorhanden sein, so kann man ihn durch Zusatz von ein Paar Tropfen salpetersaurer Silberoxydlösung hervorrufen.

Die klare vom Niederschlag abgegossene Flüssigkeit wird mit $^1/_{10}$ oder $^1/_{12}$ ihres Volumens einer Reductionsflüssigkeit, einer alkoholischen Lösung von intervertirtem Rohrzucker versetzt, um die Versilberungsflüssigkeit zu erhalten, aus der sich schon in der Kälte binnen 5 bis 15 Minuten das Silber abscheidet.

Die Reductionsflüssigkeit wird dadurch erhalten, dass man 25 Gramm gewöhnlichen Rohrzucker in 200 Gramm destillirtem Wasser auflöst, mit 1 Cubikcentim. Salpetersäure (spec. Gew. 1,33) versetzt und 20 Minuten kochen lässt. Man fügt zu dieser Flüssigkeit dann 50 Cubikcentim. Alkohol (spec. Gew. 0,84) und soviel destillirtes Wasser, bis das Ganze ein Volumen von 500 Cubikcentim. einnimmt.

Die drei angegebenen Versilberungsflüssigkeiten unterscheiden sich in der Weise, dass in demselben Flüssigkeitsvolumen bei Petitjean die grösste, bei von Liebig die geringste Silbermenge enthalten ist, während die Martin'sche Flüssigkeit zwischen beiden steht. Der Ammoniakgehalt ist bei Petitjean und Martin etwa gleich, während von Liebig mehr Ammoniak und doppelt soviel Natron der Silberlösung zusetzt wie Martin.

Uebrigens versagen zuweilen alle diese Methoden, oder liefern doch fehlerhafte Spiegel, ohne dass ein rechter Grund dafür aufzufinden wäre. Gewöhnlich kann man durch Anwendung anderer Ammoniakflüssigkeit dem Uebelstand abhelfen.

Wie schon oben bemerkt, scheint sich das Silber in um so kleineren

1) Compt. rend. T. 56, 1863, p. 1044.

Digitized by Google

Theilchen abzuscheiden, je schneller es aus einer Flüssigkeit reducirt wird. Die kleinen Theilchen haben dann nicht Zeit, sich in der Flüssigkeit vor dem Ablagern auf dem Glase zusammenzuballen. In dieser schnelleren Abscheidung des Silbers aus der Flüssigkeit scheint auch der Vorzug des Martin'schen Verfahrens zu beruhen, mit blauer Farbe durchsichtige Silberplatten, die sich leicht poliren lassen, zu geben. Lässt man zuviel Silber sich absetzen, so lagern sich auf die kleinen Silbertheilchen auch noch grössere auf, und die Silberschicht nimmt dann schwerer eine vollkommene Politur an. Eine scheinbar unbedeutende Verschiedenheit der Versilberungsflüssigkeit, die man sonst nicht wahrnimmt (herrührend z. B. von dem angewandten Ammoniak), kann das Zusammenballen der kleinen Silbertheilchen zu grösseren Klümpchen befördern, und man hat dann Silberschichten, die sich unvollkommen oder gar nicht poliren lassen. Möglicher Weise beruht die grössere Haltbarkeit der nach Petitjean's Methode erhaltenen Spiegel darauf, dass sie aus langsamer abgeschiedenen, d. h. grösseren Silbertheilchen bestehen.

Schon die Methoden, auf Plangläsern Silber aus Flüssigkeiten sich abscheiden zu lassen, so dass man das Silber poliren kann, sind unvollkommen. Noch in weit höherem Grade ist dies mit anderen Metallen der Fall. Ich habe verschiedene Methoden, um Gold- oder Platinniederschläge der erwähnten Art hervorzubringen, versucht; aber selbst in den seltenen Fällen, wo im Probirröhrchen das Verfahren ganz gut gelang, versagte es bei Plangläsern. Unter 80 Malen, in denen ich das von von Liebig a. a. O. angegebene Verfahren versucht habe, habe ich nur das zweite Mal brauchbare Goldspiegel auf Spiegelglas erhalten und schliesslich, um Zeit zu sparen, es vorgezogen, meine Versuche in anderer Weise anzuordnen.

Am sichersten führen noch diejenigen Methoden zum Ziel, wo man durch sehr starkes Erhitzen von Gold- oder Platinlösungen mit ätherischen Oelen auf Glasplatten dünne Metallschichten herstellt und diese dann polirt. Ich habe dazu eine Goldlösung benutzt, wie sie die Schumann'sche Porcellanfabrik bei Berlin zur sogenannten kalten Vergoldung von Porcellan-Vasen benutzt, und ferner eine Platinlösung, die ich der Güte des Hrn. Prof. Böttger in Frankfurt a. M. verdanke.

Berlin, im Mai 1866.

Digitized by Google

Der Foucault'sche Regulator zur Herstellung gleichförmiger Bewegung bei Uhrwerken.

(Hiezu Tafel XXXVI.)

Bereits vor mehreren Jahren hat Herr Foucault für das neue Aequatoreal der Pariser Sternwarte ein treibendes Uhrwerk construirt, bei welchem das Watt'sche Pendel benützt und damit ein eigenthümlicher Regulator zur Herstellung des Isochronismus verbunden ist. Herr Sécretan, in dessen Ateliers der neue Regulator ausgeführt wurde, hat in Les Mondes vom 31. Mai dieses Jahres eine kurze Beschreibung desselben gegeben. Ausserdem liegt uns von sehr geehrter Seite die Theorie und Beschreibung des Apparates im Manuscripte vor. Da uns die Benützung dieses letzteren gestattet wurde, so glauben wir, dass es im Interesse unserer Leser gelegen sein möchte, daraus das Wesentliche über diese neue Vorrichtung, welche auf Taf. XXXVI dargestellt ist, mitzutheilen.

Der Watt'sche Regulator ist ein zusammengesetztes Kegelpendel und die Theorie dieses letzteren findet im Allgemeinen volle Anwendung auf den Regulator, wenngleich die Arm- und Gelenk-Einrichtungen desselben etwas grössere und verrückbare Kraftverluste bedingen als sie bei dem freien Kegelpendel anzunehmen sind.

Die Umlaufszeit eines Kegelpendels hat bekanntlich den Ausdruck

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l\cos\alpha}{g}}$$

wo l die Länge des Pendels, α der Winkel, welchen es mit der Verticalen einschliesst, und g die bekannte Constante der Schwerkraft ist.

Dieser Ausdruck hat mehrfach zu Zweifeln Anlass gegeben; er lässt sich in folgender Weise herleiten.

Ein Pendel kann ausser in der Verticalen noch in eine zweite Gleichgewichtslage kommen, wenn man ihm eine so schnelle Rotations-Geschwindigkeit um eine verticale Axe ertheilt, dass die dabei auf-

Digitized by Google

tretende Schwungkraft die Wirkung der Schwerkraft aufhebt oder vielmehr, dass die Schwerkraft beständig dazu verwendet werden muss, die Bewegung von der Tangente in die Kreislinie zu bannen.

Der geometrische Ort dieser Gleichgewichtslage zur Verticalen ist also eine Kreislinie, und es ist leicht, die Winkelgeschwindigkeit ϑ jener Rotation zu bestimmen, bei welcher für gegebene l und α die Gleichgewichtslage zwischen Schwungkraft und Schwerkraft erreicht wird.

Der Radius der Rotation DB (Taf. XXXVI, Fig. 1) ist

$$= l \sin \alpha$$

also die Schwungkraft in der Richtung DB wirkend

$$= \vartheta^2 l \sin \alpha$$

und die Wirkung der Schwungkraft projicirt auf die Tangente der Bewegung von CB um den Aufhängungspunkt C nach CA hin ist also

$$= \vartheta^2 l \sin \alpha \,.\, \cos \alpha.$$

Die Wirkung der Schwerkraft dagegen auf die Bewegung von B nach A ist

$$= g \sin \alpha.$$

Für die Winkelgeschwindigkeit in der Gleichgewichtslage ergibt sich also die einfache Bedingung:

$$g \sin \alpha = \vartheta^2 l \sin \alpha \,.\, \cos \alpha$$

oder

$$\sin \alpha (\vartheta^2 l \cos \alpha - g) = 0.$$

Diese Gleichung ist erfüllt durch $\sin \alpha = 0$ (was die Ruhelage ausdrückt) und durch

$$\vartheta^2 = \frac{g}{l \cos \alpha}.$$

Wir haben nun die Umdrehungszeit des Pendels für den Fall der Gleichgewichtslage:

$$T = \frac{2\pi}{\vartheta} = 2\pi \sqrt{\frac{l \cos \alpha}{g}}.$$

Es ist hier zu bemerken, dass das freie Raumpendel nur dann eine Kreislinie um die Verticale beschreibt, wenn die obige Gleichung durch die Richtung und Grösse seiner Anfangsgeschwindigkeit zufällig erfüllt ist. Im Allgemeinen beschreibt es bekanntlich eine Ellipse um die Verticale.

Das Kreispendel dagegen ist ein Raumpendel, bei welchem eine (längere oder kürzere Zeit) constante Winkelgeschwindigkeit um die Verticale durch die Einrichtung bedingt ist, bei welchem also, wenn diese Winkelgeschwindigkeit bei der Anfangslage des Pendels grösser

Digitized by Google

oder kleiner ist als die zur Gleichgewichtslage gehörige, der Ueberschuss der Schwungkraft oder der Schwerkraft das Pendel so lange von der Verticalen entfernt oder ihr nähert bis die Gleichgewichtslage gefunden ist.

Durch diese Betrachtungen erledigt sich zunächst der Vorwurf gegen die obige, auch von Foucault angewandte Formel für die Umlaufszeit:

„sie müsse fehlerhaft sein, weil sie das Gewicht der Kugeln des Regulators nicht mit enthalte, von dem doch die Umdrehungsgeschwindigkeit bei gegebener Kraft wesentlich abhänge."

Die Formel enthält dieses Gewicht allerdings, aber nur implicite in dem Ausdrucke $\cos\alpha$.

Auf je mehr Massentheilchen sich die zur Rotation gegebene Kraft vertheilen muss, desto kleiner wird die Geschwindigkeit, also auch die Schwungkraft, welche sie der auf jedes Theilchen wirkenden Schwerkraft entgegensetzen kann, desto mehr wird sich also durch den Ueberschuss der Schwerkraft der Winkel α vermindern, bis sich damit auch $g \sin\alpha$ soweit vermindert hat, dass nun Gleichgewicht mit $\vartheta^2 l \sin\alpha \cos\alpha$ oder Gleichgewicht zwischen g und $\vartheta^2 l \cos\alpha$ bei vermindertem α stattfindet.

Nimmt man demnach die Masse der Kugeln grösser bei derselben Kraft, so wird der Winkel α kleiner, also T grösser und dadurch in jener Formel in der That die Umlaufszeit implicite eine Function der Gewichte der Kugeln. Die Formel ist also völlig anwendbar auf den Watt'schen Regulator.

Um nun T constant zu erhalten, muss man einfach, wie Foucault sagt, auch den Nenner g unter dem Wurzelzeichen mit $\cos\alpha$ multipliciren oder mit andern Worten, in demselben Grade wie sich die verticale Höhe des Pendels vermehrt, auch die Wirkung der Schwere erhöhen und ebenso entgegengesetzt. — Wir wollen die Bedingungen dafür successive aufsuchen.

Zunächst ist klar, dass wenn wir eine variable Wirkung G der Schwere hervorbringen können von der Form $g\cos\alpha$, wir für die Gleichgewichtslage des Kegelpendels eine Winkelgeschwindigkeit erhalten von der Form:

$$\vartheta = \sqrt{\frac{g\cos\alpha}{l\cos\alpha}} = \sqrt{\frac{g}{l}},$$

das heisst: für ein Kegelpendel, welches unter der Wirkung einer ver-

Digitized by Google

ticalen Beschleunigung von der variablen Form $g \cos \alpha$ steht, gibt es nur eine Winkelgeschwindigkeit $\vartheta = \sqrt{\frac{g}{l}}$, für welche die Gleichgewichtsbedingung, also die der Beständigkeit von ϑ erfüllt ist.

Ein Kegelpendel unter solchen Bedingungen ist also zunächst monochron, es sucht beständig ein und dieselbe Winkelgeschwindigkeit $\vartheta = \sqrt{\frac{g}{l}}$ zu erreichen. So lange ϑ grösser ist als $\sqrt{\frac{g}{l}}$, vermehrt sich der Winkel α und damit der Drehungsarm $l \sin \alpha$, bis unter der Wirkung der drehenden Kraft K die Winkelgeschwindigkeit

$$\vartheta = \frac{K}{l \sin \alpha}$$

auf die Grösse

$$\vartheta = \sqrt{\frac{g}{l}}$$

herabgesunken ist. Das Umgekehrte findet statt, so lange ϑ kleiner als $\sqrt{\frac{g}{l}}$.

Isochron kann man ein solches Pendel nennen, weil dieses ϑ und damit die Schwingungsperiode von der Amplitude α völlig unabhängig ist. Indessen verbürgt es bei verschiedenen Werthen der drehenden Kraft den Isochronismus nicht völlig, und Foucault hat auch die Tendenz eines solchen Pendels nach Erhaltung der Winkelgeschwindigkeit durch einen Hilfsapparat unterstützt, welcher ausserhalb der Bedingungen des obigen Isochronismus gelegen ist.

Der Vorzug eines so regulirenden Kegelpendels ($G = g \cos \alpha$) vor dem Watt'schen Regulator ist aber durch das Gesagte vollständig klar. Der Watt'sche Regulator ist polychron, er kann bei jeder Winkelgeschwindigkeit in's Gleichgewicht kommen und sucht nur für jedes ϑ den zugehörigen Werth von α auf. Seine regulirende Fähigkeit besteht nur darin, dass durch die Veränderungen des Winkels α, welche einer Veränderung von ϑ folgen, Einrichtungen in Bewegung gesetzt werden, welche den Kraftzufluss in entsprechender Weise verändern. Diese letzteren Modificationen der Kraft aber genau mit denjenigen Kraftänderungen, welche eine Veränderung von ϑ und α bewirken, zu balanciren und dadurch ϑ auf einen und denselben Werth zurückzuführen, ist für den Calcul eine schwierige, für die Erreichung momentaner Abgleichung in der Praxis eine noch schwierigere Aufgabe.

Digitized by Google

Der Foucault'sche Apparat leistet dies durch $G = g \cos \alpha$, indem er unmittelbar nur eine Gleichgewichtslage kennt und mithin nur eine Winkelgeschwindigkeit zulässt, und indem er bei beliebiger drehender Kraft K den Winkel α so lange ändert, bis er jenes ϑ erreicht hat; oder endlich, wenn die Variationen der Kraft zu beträchtlich und die Einrichtungen, welche $G = g \cos \alpha$ erhalten, auf eine mässige Amplitude beschränkt sind, ist er im Stande, durch geringe Variationen von α solche Hemmungs- oder Beschleunigungs-Einrichtungen in's Spiel zu setzen, die ihm seine monochrone Bedingung $\vartheta = \sqrt{\frac{g}{l}}$ mit beliebiger Strenge erreichen lassen und sogleich in ihren Variationen sistirt sind, sobald jene Winkelgeschwindigkeit erreicht ist.

Es ist somit durch die Einführung des Kegelpendels von variabler Schwere $g \cos \alpha$ ein wichtiger Schritt zur Erreichung des Monochronismus einer drehenden Bewegung geschehen. Wir wollen nun zusehen, auf welche Weise Foucault die variable Schwere $G = g \cos \alpha$ erreicht und zuletzt die Hilfseinrichtung betrachten, durch welche er dem Regulator seine unveränderliche Winkelgeschwindigkeit des Gleichgewichtszustandes erreichen hilft.

Um den Druck der Gewichte des Regulators veränderlich und gleich $g \cos \alpha$ zu machen, muss man ein Gegengewicht anbringen, welches ebenfalls durch eine beschleunigende Schwerewirkung die Büchse des Regulators, welche durch das Gewicht der Kugeln auf der verticalen Axe nach unten gedrückt wird, mit der nöthigen Kraft nach oben treibt und zwar mit einer Kraft, welche gleich ist:

$$= g(1 - \cos \alpha)$$

denn dann ist die Differenz beider Kräfte, die sich entgegenwirken, gleich

$$= g - g(1 - \cos \alpha) = g \cos \alpha.$$

Um diese Bedingung zu erfüllen, sind zunächst nach der Taf. XXXVI Fig. 2 folgende vereinfachende Festsetzungen zu machen. Es sei

$$ES = \frac{1}{2} MS = \frac{1}{2} l$$

mithin $SC = l \cos \alpha$

ferner sei $SB = l$

und ebenso $AC = l$ angenommen.

B und A sind Angelpunkte von Bewegungen, wie dies aus Taf. XXXVI Fig. 4 näher ersichtlich ist.

Digitized by Google

Es ist nach den obigen Annahmen

$$CB = l(1 - \cos\alpha)$$

zugleich $$CB = AC \sin\varphi = l \sin\varphi.$$

Wir haben also

$$\sin\varphi = 1 - \cos\alpha.$$

Kann man demnach bei C unter der Büchse einen Druck nach oben hervorbringen, welcher die Höhe von C (also auch ganz entsprechend von M und M') um $g(1 - \cos\alpha) = g \sin\varphi$ zu ändern strebt, so ist die Forderung erfüllt. Wir setzen hier einstweilen g für $(M + M')g$ oder das Gewicht.

Da sich nun mit der Bewegung von C gegen das feste B der Winkel φ ändert, während die Länge $AC = l$ unverändert bleiben soll, so wird sich, wenn unter allen Umständen C die Tendenz haben soll, um $g \sin\varphi$ zu steigen, A mit einer entsprechenden variablen Kraft dem Punkte B nähern müssen. Und zwar, wenn in der Richtung BC ein Druck von oben $= g \sin\varphi$ überwunden werden soll, wird in der Richtung AC ein Druck gleich g wirken müssen, dessen zweite Componente $g \cos\varphi$ bei C durch die Kettung von C an die Achse unwirksam gemacht wird.

Dieser Druck g in der Richtung AC kann bei A hervorgebracht werden durch zwei Componenten $g \sin\varphi$ und $g \cos\varphi$. Erstere wird dargestellt durch den Widerstand, welchen der Arm FA, der in F befestigt ist, einem von oben nach unten wirkenden Drucke $g \sin\varphi$ entgegensetzt, also durch den Support, welchen der feste Unterstützungspunkt F für die Componente $g \sin\varphi$ (des Druckes längs CA) liefert. Diese aus dem verticalen Widerstande in FA entnommene Gegenwirkung wird stets dem Drucke $g \sin\varphi$ das Gleichgewicht halten können. Es kommt also nur noch darauf an, die horizontale Componente $g \cos\varphi$ des Druckes in A herzustellen.

Kann man in A eine Kraft anbringen, welche A stets horizontal oder nahe genug horizontal um $g \cos\varphi$ nach B zu treiben sucht, so ist dadurch die horizontale Componente $g \cos\varphi$ des von oben her in der Richtung CA zu überwindenden Druckes g, welche A von B entfernt, aufgewogen und somit in der That in C ein Support für den Theil $g \sin\varphi$ der in der Richtung CB wirkenden Schwere geschaffen, indem der ganze in der jedesmaligen Richtung CA wirkende Druck g durch die jedesmal herzustellende Gegenwirkung $g \cos\varphi$, welche mit g

Digitized by Google

stets den Winkel φ einschliesst, und durch die verticale Unbeweglichkeit von A, die wir annehmen, vollständig balancirt wird.

Die Genauigkeit, mit welcher durch diese Einrichtung gerade nur der Theil $g \sin \varphi$ der Schwere aufgehoben und dadurch $G = g \cos \alpha$ erreicht wird, beruht natürlich besonders auf der Schärfe, mit welcher durch die letzte horizontale Componente $g \cos \varphi$ das Maass des Druckes angegeben wird, also auf der Kleinheit des Winkels φ. Doch sind auch hierin, wie man leicht sieht, Grenzen gesetzt.

Es handelt sich also jetzt nur noch darum, eine Kraft herzustellen, welche im Stande ist, auf A in der Richtung AB einen Druck $g \cos \varphi$ für jedes in der Richtung CB drückende Massentheilchen, also im Ganzen einen Druck

$$(M + M') g \cos \varphi \text{ oder } P \cos \varphi$$

auszuüben.

Dazu dient die Masse M'' (Taf. XXXVI, Fig. 3) und das Hebelwerk AFM'', welches in F seinen Drehpunkt hat. Dieser Theil der Foucault'schen Einrichtung hat nun die engsten Amplituden genauer Wirksamkeit. Die Construction desselben und die Abmessung geht von einem bestimmten Anfangswerthe der Winkel α und φ aus und gilt eigentlich strenge nur für Nachbarwerthe des Anfangswerthes oder für Differentialänderungen. Die Einrichtung ist demungeachtet von dem grössten Scharfsinne und von entschiedener Bewährtheit.

Nehmen wir als Fundamentalwerth für die Abmessungen an $\alpha_0 = 45''$, woraus der entsprechende Werth φ_0 durch die Gleichung

$$\sin \varphi = 1 - \cos \alpha$$

gefunden wird, und nennen wir

$$AF \ldots . \ l'$$
$$FM'' \ldots . \ l''$$

und Winkel $NFM'' \ldots . \ \omega_0$.

Durch die Masse M'', welche sich der Verticalen zu nähern sucht, wird A (für kleine Drehungen nahe horizontal) nach B hinübergetrieben. Es kommt nun darauf an, die Relation zwischen P, M'', l', l'' und ω so zu bestimmen, dass nicht nur für die Anfangswerthe der Winkel, sondern auch für benachbarte Werthe die bei A angreifende Kraft $= P \cos \varphi$ bleibe. Wenden wir hier Differentialformeln an, so finden wir folgende Vorschriften aus der Analyse der Wirkungen.

Durch ihr Gewicht $M'' g = P''$ sucht die Masse M'' den Bogen $P'' \sin \omega$ oder einen Winkel

Digitized by Google

$$\triangle\omega = \frac{P \sin \omega}{l''}$$

zu beschreiben. Denselben Winkel $\triangle\omega$ beschreibt natürlich der Arm $AF = l'$, also das Bogenelement

$$\triangle(AB) = \triangle\omega \,.\, l' = P'' \frac{l'}{l''} \sin \omega.$$

Und diese Sollicitation soll gleich sein $P \cos\varphi$; wir haben also zur Bestimmung von P'' die Gleichung

$$P'' \,.\, \frac{l'}{l''} \sin \omega_0 = P \cos \varphi_0$$

$$P'' = P \frac{l''}{l'} \,.\, \frac{\cos \varphi_0}{\sin \omega_0}.$$

Durch diese Festsetzung ist der Anfangswerth $P \cos \varphi_0$ verbürgt. Zur Erfüllung der Gleichung für die benachbarten Werthe der Winkel muss der Anfangswerth ω_0 besonders bestimmt werden.

Dies geschieht durch folgende Betrachtungen. Es muss möglichst allgemein die Gleichung erfüllt sein:

$$P'' \frac{l'}{l''} \sin \omega = P \cos \varphi$$

oder wenn wir den obigen Werth von P'' eintragen:

$$P \frac{\cos \varphi_0}{\sin \omega_0} \sin \omega = P \cos \varphi$$

Nun sei

$$\varphi = \varphi_0 + \triangle\varphi$$
$$\omega = \omega_0 + \triangle\omega$$

also

$$\cos (\varphi - \triangle\varphi) \,.\, \frac{\sin(\omega_0 + \triangle\omega)}{\sin \omega_0} = \cos \varphi$$

Entwickeln wir diesen Ausdruck, indem wir die höheren Potenzen und Producte von $\triangle\varphi$ und $\triangle\omega$ weglassen, so erhalten wir nach einigen Vereinfachungen:

$$(A) \ldots \triangle\omega = -\triangle\varphi \operatorname{tg} \varphi \,.\, \operatorname{tg} \omega_0$$

Hiemit verbindet sich Folgendes zur Bestimmung von ω_0. Die Incremente $\triangle\omega$ und $\triangle\varphi$ werden ausser durch die obige Gleichung noch durch das Increment $\triangle(AB)$ verbunden. Nun ist

$$\triangle(AB) = l' \triangle\omega$$

zugleich aber, da

$$AB = l \cos \varphi$$

ist, ferner

$$\triangle(AB) = l \sin \varphi \triangle\varphi$$

Digitized by Google

woraus sich ergibt

$$\frac{\Delta\omega}{\Delta\varphi} = -\frac{l}{l'}\sin\varphi$$

Da nun aus der erstgefundenen Relation (A) zwischen $\Delta\omega$ und $\Delta\varphi$ sich ergibt

$$\operatorname{tg}\omega_0 = -\frac{\Delta\omega}{\Delta\varphi}\operatorname{cotg}\varphi$$

so folgt endlich

$$\operatorname{tg}\omega_0 = \frac{l\cos\varphi}{l'} = \frac{AB}{AF}$$

Der Anfangswinkel ω_0 ist also unter der Bedingung, dass für den mittleren oder Anfangszustand der Winkel BAF nahe gleich 90^0 ist, durch die Linien FA und FB bestimmt. Daraus ergibt sich der Sinn der Foucault'schen Construction.

Hiemit wäre im Wesentlichen Alles erledigt, was sich auf den Regulator selbst bezieht.

Man kann allerdings den so erlangten Isochronismus nur als eine Approximation bezeichnen; indessen trägt die ganze Einrichtung alle Mittel in sich, durch empirische Verfolgung der theoretischen Approximation jede beliebige Strenge zu erreichen.

Dazu dient nun ganz besonders ein durch den Hebelarm AF regulirter Ventilator (auf der rechten Seite der Zeichnung Fig. 6 u. 7). Durch die Anfangsstellung dieses Wind-Rades und die Fläche seiner Luftöffnungen kann man sogleich dem Regulator für einen Anfangszustand seiner Winkel diejenige Winkelgeschwindigkeit zuführen, welche seiner eigenen monochronen Bedingung nahe genug liegt.

Und im weiteren Verlaufe der Bewegung können durch die feinsten Winkelbewegungen des Armes FA, welche aus der Nichterfüllung der Bedingung $\vartheta = \sqrt{\frac{g}{l}}$ hervorgehen, so beträchtliche Hemmungen oder Beschleunigungen durch die Veränderungen der Lukenfläche des Wind-Rades hervorgebracht werden, dass der Regulator immer wieder sehr bald die einzige Winkelgeschwindigkeit erreicht, für die er im Gleichgewichte ist, also der Hebelarm FA in Ruhe kommt.

Digitized by Google

Vorlesungsversuche

von

W. Beetz.

(Hiezu Tafel XXXV.)

1) Theilungen an Vorlesungsapparaten. Die üblichen Theilungen sind zur Anstellung messender Vorlesungsversuche gänzlich illusorisch; in einiger Entfernung sieht sie Niemand mehr. Ich habe alle Theilungen (an der Fallmaschine, am Stativ der Mariotteschen Röhre u. s. w.) so ausführen lassen, dass sie im ganzen Auditorium leicht gesehen werden. Die Stative bestehen aus hell polirtem Eichenholz, alle Theilungen sind in Centimetern ausgeführt; eines um das andere dieser Centimeter ist der ganzen Breite nach schwarz polirt, jedes zehnte der hellgelben Centimeterstreifen ist durch eine eingelegte Elfenbeinplatte ersetzt (Taf. XXXV, Fig. 1). Man braucht jetzt aus der Ferne immer nur fünf schwarze und die dazwischen liegenden vier gelben Flächen von einander zu unterscheiden, weil die weissen Flächen die Decimetergruppen ganz grob in's Auge fallend machen. Man bedarf nur zweier so getheilter Stative, von denen das eine leicht für die Fallmaschine, für Versuche über die Längenveränderung elastischer Federn, für Versuche mit verschieden langen Pendeln, mit schwingenden Saiten u. s. w., das andere für die verschiedenen Gasdruckversuche hergerichtet werden kann.

2) Schiefe Ebene. Die gewöhnlichen Modelle zeigen nur die Grösse der der schiefen Ebene parallelen Componente der Schwerkraft, über die auf derselben senkrechte erfährt man Nichts. Mein Modell (Taf. XXXV, Fig. 2) besteht aus einer ebenen Messingplatte AB, welche wie gewöhnlich um ein Gelenk gedreht und mittelst eines getheilten Kreisbogens auf beliebige Neigungen eingestellt werden kann. Die Länge dieser Ebene mag 10 heissen (wobei 1 = 1,5 bis 2 Centimeter genommen werden kann). Das Ganze ruht auf einem rechteckigen Rahmen von starkem Messing, und dieser auf vier Säulen, einem Fussbrett und Stellschrauben. Die eine Seitenwand des Rahmens, BC, trägt eine Elfenbeinplatte von der Länge 10, in 10 abwechselnd weisse und schwarze Felder getheilt. In A, dem einen Endpunkt der

Digitized by Google

schiefen Ebene, hängt an einem Stift ein Elfenbeinstab lothrecht herab, getheilt wie BC und von gleicher Länge. Auf der schiefen Ebene ruht eine Messingwalze W vom Gewicht 10 (etwa Hectogramm). Von ihrer Axe gehen, durch Messingbügel gehalten, zwei Schnüre aus, die eine über die Rolle D, die andere über die beiden Rollen E und E' (für die man auch nach Belieben eine grössere setzen könnte). Sobald man der Ebene irgend eine Neigung gegeben hat, schneidet die Mittellinie des herabhängenden Stabes (die nur zum besseren Einstellen für den Experimentator da ist) von der Basis BC ein Stück ab, welches dem Cosinus des Neigungswinkels, und die Basis vom herabhängenden Stab ein Stück, welches dem Sinus des Neigungswinkels entspricht. Wäre z. B. das erstere Stück = 8, das letztere = 6, so muss man an die Schnur e das Gewicht 8, an die Schnur d das Gewicht 6 hängen, um die Walze im Gleichgewicht zu halten. Um die Parallaxe zu vermeiden, ist es zweckmässig, den Maassstab BC nicht auf der horizontalen Vorderfläche des Rahmens zu befestigen, sondern diesen in der Länge von B bis C so abzuschrägen, dass sich der obere Rand des Maassstabes bis dicht an den herabhängenden Stab nach hinten neigt.

Sehr instructiv ist hierbei, dass, so lange man an e noch kein Gewicht gehängt hat, die Walze an jeder Stelle der Ebene durch das Gewicht 6 im Gleichgewicht gehalten wird; nachdem aber das Gewicht 8 angehängt ist, das Gleichgewicht nur an einer einzigen Stelle eintritt, wenn nämlich die beiden Bügel senkrecht zu einander stehen.

3) Mariottesche Röhre. Beim Eingiessen des Quecksilbers in das obere Ende einer langen Röhre giesst der Gehülfe bald zu viel, bald zu wenig, und der Experimentator muss fortwährend commandieren. Ich habe auf meinem Stativ eine Quecksilberbüchse von Buchsbaumholz befestigt, mit deren Hahn durch ein Cautchoucrohr ein dünnes eisernes Rohr verbunden ist, welches in die Glasröhre mündet (Taf. XXXV, Fig. 3). Am Hahngriff ist ein langer Eisenhebel angebracht, von dessen Ende eine Schnur herabhängt. Eine Feder a, welche gegen den Hebel drückt, hält den Hahn geschlossen; zieht man an der Schnur, so öffnet er sich und es ist nun sehr leicht, im richtigen Augenblick die Schnur loszulassen, und so den weiteren Zufluss sofort zu hemmen.

4) Gefärbte Oelkugel. Um die Oelkugel bei den Plateau'schen Gleichgewichtsfiguren gehörig sichtbar zu machen, muss dieselbe ge-

Digitized by Google

färbt werden. Die Farbstoffe aber, welche sich im Oel auflösen, z. B. Alkaunaroth, lösen sich meist auch im Alkohol, und darum werden die Umrisse schnell unbestimmt. Man färbt Olivenöl intensiv grün, wenn man es bei gelinder Erwärmung, etwa auf dem Stufenofen, über Kupferoxyd stehen lässt, öfter damit schüttelt und dann filtrirt. Eine so gefärbte Oelkugel kann ohne ihre Farbe zu verändern monatelang in der Alkoholmischung schwebend aufbewahrt werden.

5) Gesetz des Schwimmens. In die Wand eines Cylinderglases von ungefähr 30 Centimeter Höhe ist ein Loch gebohrt, in welches eine Glasröhre, wie in Fig. 4 gebogen, eingekittet ist. Man bestreicht den oberen Rand der Röhre mit etwas Fett und füllt das Glas mit Wasser. Dieses fliesst bis zum Röhrenrande aus. Durch das Fett wird verhindert, dass je nach dem Grade zufälliger Benetzung bald etwas mehr, bald weniger Wasser ausfliessen kann. Man schiebt jetzt unter die äussere Röhrenöffnung die eine Schaale einer Tafelwaage und senkt in das Glas einen aräometerartigen Körper von Messing, der so schwer ist, dass, wenn er schwimmt, die Wasseroberfläche sich am Stiel befindet. (Will man statt mit Wasser, auch mit anderen Flüssigkeiten experimentiren, so kann der Schwimmer von Glas sein, man giesst dann so viel Quecksilber in denselben, dass er in der betreffenden Flüssigkeit wieder bis an den Hals untersinkt.) Jetzt fliesst so viel Wasser auf die Waagschaale, als der schwimmende Körper verdrängt. Hat das Fliessen aufgehört und man hebt den Schwimmer heraus, trocknet ihn ab und legt ihn auf die andere Schaale, so steht die Waage im Gleichgewicht.

6) Vorlesungsthermometer. In Poggendorff's Annalen CXI, p. 122 habe ich ein Thermometer beschrieben, welches viele thermische Versuche zu zeigen erlaubt, welche man sonst den Zuhörern auf guten Glauben beschreiben muss. Es ist mit zwei Zifferblättern von 20 Centimeter Durchmesser versehen. Der Zeiger macht auf dem einen Blatt einen Umgang bei einer Erwärmung von 40° C, auf dem anderen bei einer Erwärmung von 100°. Es ist durchaus unnöthig, die Grade sehr sichtbar zu machen, etwa wie bei den oben beschriebenen Maassstäben. Auf dem einen Zifferblatt, das gewöhnlich gebraucht wird, sieht man leicht: oben bedeutet 0, unten 20, links 10, rechts 30 und wieder oben 40, gerade wie man sehr wohl nach der Uhr sehen kann, ohne Theilung oder Ziffern auf derselben zu erkennen. Auf dem andern Zifferblatt, das nur bei höheren Tempe-

Digitized by Google

raturen benutzt wird, gilt dasselbe für 0, 50, 25, 75 und 100. Um die Zeiger recht sichtbar zu machen, tragen sie kurz vor der Spitze (Taf. XXXV, Fig. 5) ein dünnes, rothgefärbtes Elfenbeinscheibchen (*a*), das natürlich, wie der ganze Zeiger, äquilibrirt sein muss. Besonders instructiv kann man folgende Versuche mit dem Thermometer ausführen: Man setzt auf die Schaalen einer Tafelwaage zwei gleich schwere Bechergläser, schüttet in das eine Schnee und in das andere ein gleiches Gewicht an Wasser von etwa 80°, nachdem man das Glas mit eben solchem Wasser ausgespült hatte. Man taucht nun das Thermometer in dieses Glas, wartet bis es 79° zeigt, kühlt es dann schnell in Schnee ab, steckt es in das mit Schnee gefüllte Glas und zeigt, dass es in diesem auf 0° steht. Nun giesst man das 79° warme Wasser zum Schnee hinzu und taucht das Thermometer wieder ein; es bleibt auf 0 stehen. Ferner: Man umhüllt ein Becherglas mit Baumwolle, füllt es mit Aether, taucht das Thermometer in denselben und treibt den Luftstrom eines Gebläses durch den Aether. Das Thermometer sinkt sehr schnell und erreicht, wenn das Zimmer nicht zu heiss ist, bequem — 20 bis — 24°. Dann: Man setzt das Thermometer auf ein Becherglas, das Wasser von ungefähr 40° enthält, und bringt das Ganze unter die Glocke der Luftpumpe. Sobald beim Evacuiren das Wasser zu kochen beginnt, sinkt das Thermometer.

Ich bediene mich jetzt meines, von Sauerwald in Berlin angefertigten Thermometers seit mehr als sechs Jahren. Ein am 20. November d. J. angestellter Vergleich zwischen seinen Angaben (V) und denen eines Geissler'schen zehntelgrädigen Thermometers (G) ergab folgende Zahlen, die in der Reihenfolge angegeben werden, in welcher sie gefunden sind:

V.	G.	V.	G.
99,3	97,0	44,8	44,3
14,2	14,2	19,0	19,2
78,7	77,1	30,7	30,7
17,0	16,8	17,3	17,2
66,6	65,9	— 13,8	— 14,0
18,3	18,3	75,8	74,1
54,4	53,8	— 22,5	— 22,8
19,0	19,2	0,3	0,4

Man sieht, dass die für Vorlesungsversuche sehr unbeträchtlichen Abweichungen noch fast dieselben sind, wie vor sechs und einem halben Jahre.

Digitized by Google

Augenmodell.

Von

W. Beetz.

Um den Mechanismus der Accommodation auch Zuhörern zu versinnlichen, welche keine physiologischen Kenntnisse besitzen, habe ich ein Modell construirt, das bereits in verschiedene Cabinete übergegangen, aber noch nicht beschrieben worden ist. Aus starken Blechreifen ist der Ring *sksksk*, Tab. XXXV, Fig. 6, der in seiner Gestalt ungefähr die Umrisse eines horizontalen Augendurchschnittes nachahmt, zusammengesetzt. Die beiden Reifen sind an mehreren Stellen durch Bleche mit einander verbunden, z. B. bei *s*, *s* und *s*; mittelst dieser Bleche ist der Ring auf eine schwarze Holztafel festgeschraubt. Ein zweiter Reifen von gut federndem dünnem Blech, *amag*, ist nur bei *m* an die Innenwand des ersten Ringes festgelöthet; an demselben ist der Blechstreifen *bceecb* bei *b* und *b* angelöthet. Bei *d* und *d* sind zwei starke zusammengerollte Bleche an den festen Ring angelöthet, gegen welche der innere Ring federnd lose anliegt. Bei *a* und *a* sind an diesen Ring ein paar Haken angelöthet, von denen aus Schnüre *f* über die abgerundeten Lager *r r* und durch die darunter befindlichen Löcher in der Holztafel geführt sind. Hinter dieser Tafel befindet sich eine hölzerne Walze, deren Zapfen *w* durch die Tafel gesteckt ist. Auf *w* ist auf der Vorderseite der Tafel der Ring *z* geschoben und durch eine Schraube daran befestigt. Die Schnüre *f* gehen hinter der Tafel abermals über abgerundete Lager oder Rollen (die nicht gezeichnet sind) und sind dann an der Peripherie der Walze befestigt. Wird die Walze durch die Handhabe *h* (hinter der Tafel) gedreht, so wickeln sich die Schnüre auf und ziehen den inneren Blechring vorwärts gegen die festen Stützen *dd*. Die Mitte des Bogens *ceec* kann dabei nicht vorrücken, weil sie sich gegen den Ring *z* lehnt, *ceec* krümmt sich also nur stärker, dagegen tritt *g* weiter vor und zugleich krümmt sich der Bogen *bgb* ebenfalls stärker. Ueber die beiden Bogen, welche den linsenförmigen Raum einschliessen, wird nun eine dünne Cautchouchaut gespannt. Man erwärmt das Blech, bestreicht es mit recht warmem Leim und zieht die Haut, etwa bis *cc*, herüber. Sie legt sich sehr fest an das Blech an, auf dem sie ganz glatt gestrichen wird. Darauf

Digitized by Google

wird jeder der beiden Blechbogen seiner ganzen Breite nach und etwas weiter, als er von der Cautchouchaut bedeckt ist, mit schwarzem Glanzpapier überklebt, so dass von dieser nur die linsenförmige Oberfläche unbedeckt bleibt. Zwei Streifen Cartonpapier werden dann wie *ae* gekrümmt, mit schwarzem Papier beklebt und dessen überstehende Enden bei *a* auf das Blech, bei *e* auf das schon vorhandene Papier festgeklebt. Endlich wird ein Streifen von weissem Tuch auf die innere Fläche des Ringes *eamae* aufgeleimt, nur die Strecke *ee* freilassend. Die Holztafel, soweit sie im Innern der ganzen Figur sichtbar werden würde, ist mit einem hellblauen Papiere bedeckt, aus dem nur der Kreis für *w* und *s* herausgeschnitten ist, und welches untergelegt wird, ehe man das Modell auf die Tafel festschraubt.

Zwei Stücke von dickem Pappendeckel werden nun so geschnitten, dass ihre Schnittflächen (Taf. XXXV, Fig. 7) die Irisdurchschnitte vorstellen. Bei *p* sind dieselben auf Drahtstifte gesteckt, bei *q* durch ein Band, das sowohl auf die Fläche *pq* als auf die vordere Linsenfläche angeklebt ist, mit der Linse fest verbunden. Rückt daher die Fläche *g* vorwärts, so thun es auch die Ränder *qq*. Der äussere feste Blechring ist an verschiedenen Stellen mit Korkstücken *k* ausgefüllt. Auf diese wird eine auf Pappendeckel in Farben ausgeführte Zeichnung des Augendurchschnittes, ungefähr wie sie Fig. 7 zeigt, aufgeklebt, so dass die Ciliarfortsätze lose über den spitzen Ecken der Linse liegen. Auf die freigelassene Cautchoucfläche malt man einige, die Structur der Linse andeutende Linien. Die Irisdurchschnitte werden auf Cartonpapier gemalt und so auf die Ränder *pq* geklebt, dass ihre hinteren Ränder unter der Umrisszeichnung versteckt bleiben. Dreht man nun die Walze, so sieht man folgende Veränderungen eintreten:

a) die Chorioïdea mit der Retina wird angespannt;
b) der Irisansatz am Schlemmschen Canal rückt nach hinten;
c) der Pupillarrand wird vorgeschoben;
d) die vordere Linsenfläche wird stärker gekrümmt und vorgeschoben;
e) die hintere Linsenfläche wird stärker gekrümmt, aber nicht vorgeschoben;
f) die einzelnen Linsenschichten verändern ihre Krümmungshalbmesser.

Der horizontale Durchmesser meines Modells beträgt 30 Centimeter.

Auf Veranlassung des Herrn Geheimrath Ruete wird das Modell in Leipzig im physikalischen Institute von Tauber angefertigt.

Digitized by Google

Der neue Jähns'sche Messtisch.

Mittheilung von

Ernst Fischer,

Ingenieur.

(Hiezu Tafel XXXVII — XXXIX.)

Herr Ingenieur Jähns in Berlin (Firma Jähns und Toussaint) hat in jüngster Zeit einen neuen Messtisch construirt, welcher ausser in andern Staaten auch in Bayern und zwar im Januar d. J. patentirt wurde.

1) Theorie.

Denken wir uns zwei sich berührende, auf einander drehbare und durch eine Axe verbundene Scheiben s und s_1 (Fig. 1, Taf. XXXVII); auf der oberen dieser Scheiben s stehe geneigt zur Ebene der Scheibe um den Winkel $(90^0 - \alpha)$ eine Axe aa, welche mit dieser Scheibe s dauernd fest verbunden ist; am Ende dieser Axe aa stehe fest damit verbunden und senkrecht zu ihr eine ebene Platte pp, letztere stelle das Messtischblatt vor; unter den Scheiben s und s_1 denke man sich das Stativ des Messtisches. Drehen wir nun die obere Scheibe s, indem wir die untere s_1 festhalten, so beschreibt die Axe aa eine Kegelfläche und die Platte pp gelangt in alle Lagen, welche bei dem angenommenen Neigungswinkel α der Kegelerzeugenden zur Kegelaxe möglich sind; dabei schliesst, weil aa senkrecht auf pp, die Platte pp mit der Ebene der Scheibe s immer den Winkel α ein. Stehen die Scheiben s und s_1 horizontal, und ziehen wir in der Ebene pp eine Horizontale, so verändert dieselbe ihre Horizontalität nicht, wohin wir auch pp drehen mögen, so lange s, s_1 horizontal bleiben. Befindet sich nun unter den Scheiben s, s_1 eine Vorrichtung, mittels welcher man dieselben um eine horizontale Axe heben oder senken kann, so darf man sich pp nur so lange gedreht denken, bis die in pp gezogene Horizontale der genannten Drehaxe parallel ist, wird jetzt pp so lange gehoben oder

Digitized by Google

gesenkt, bis eine auf der erwähnten Horizontalen errichtete, in *pp* liegende Senkrechte ebenfalls horizontal ist, so ist folgerichtig auch die ganze Platte *pp* horizontal.

Die zum Heben oder Senken der Platte *pp* nothwendige Vorrichtung, wie sie am Jähns'schen Messtisch angebracht ist, soll durch die Fig. 2, Taf. XXXVII versinnlicht werden. Das beschriebene System *s*, s_1, *aa*, *pp*, wird, um eine Axe *A* drehbar, mittels der Schraube *S* gehoben oder gesenkt; die Axe *A*, welche ihre Stütze in zwei auf dem Kopfe des Stativs angebrachten Lagern hat, ist mit der unteren Scheibe s_1 fest verbunden; die Schraube *S* hat als Mutter eine in dem Kopf des Stativs befestigte Büchse, und endigt in eine Kugel, welch' letztere in einem aufgeschlitzten Cylinder, der an der untern Scheibe s_1 sitzt, läuft.

Bei genauer Anschauung des beschriebenen Systems, welches im Wesentlichen alle Theile des Jähns'schen Messtisches enthält, leuchtet auch sofort ein, dass die Axe *A* durchaus nicht horizontal zu sein braucht, um durch Drehung von *s* auf s_1 und damit abwechselndes Heben oder Senken vermittels der Schraube *S* die Platte *pp* zur Horizontalität zu bringen.

2) Construction.

Fig. 1 u. 2, Taf. XXXVIII u. XXXIX geben den senkrechten Durchschnitt und beziehlich die Ansicht des Messtisches in $^1/_2$ der wirklichen Grösse, Fig. 3 in demselben Maassstabe die horizontale Projection des oberen Theiles nach Hinwegnahme des Tischblattes, und Fig. 4 das Detail für die horizontale Bewegung und Klemmung in wirklicher Grösse.

Es wird sofort die Uebereinstimmung dieser Figuren mit dem nur in einfachen Linien eben gegebenen System ersichtlich.

Das Stativ hat 3 Füsse, welche, um das Instrument möglichst leicht zu machen, aus je 2 Stücken bestehen, die auf die ganze Länge derselben durch 2 Klötze Holz verbunden sind; unten endigen beide Stücke in eine eiserne Spitze, oberhalb deren ein Ansatz aus Holz es ermöglicht, den Tischfuss in den Boden fest einzutreten; das obere Ende der beiden Theile eines Tischfusses wird durch Schrauben an einen Vorsprung des Stativkopfes befestigt; letzterer ist aus 3 Schichten harten Holzes gefügt, um dem Werfen und Schwinden möglichst Einhalt zu thun. Wie Fig. 1 zeigt, ist dieser Kopf des Stativs in seiner Mitte cylindrisch durchbohrt, um zu gestatten, dass man von unten

Digitized by Google

zu der Schraubenmutter *a* gelangen kann, um sie zu lüften oder anzuziehen, je nachdem die Drehung der beiden Scheiben *s* und s_1 aufeinander zu streng oder zu leicht erfolgt. Eine weitere Durchbohrung hat der Kopf des Stativs bei *b*, um der Schraube *S* den Durchgang zu gestatten; in der oberen Schichte des Kopfes geht diese Schraube *S* durch die hülsenförmige eingelassene Mutter *c*, welch' letztere auf einer Seite senkrecht durchschnitten ist, um mittelst einer in unseren Figuren zwar nicht sichtbaren, aber durch die Oeffnung *d* im Kopfe (Fig. 2) zugänglichen Schraube, fester oder leichter, je nach Erforderniss, an die Schraube *S* gedrückt zu werden, und welche federnd wirkt.

Auf den Stativkopf ist die Metallplatte *e*, welche natürlich in ihrer Mitte auch kreisförmig durchbrochen ist, mittelst mehrerer Schrauben *f* befestigt; diese Platte trägt drei Ansätze *g* und zwei feste Lager *h*. Die drei Ansätze *g* dienen dazu, um das einen Theil der Construction schützende Gehäuse *i* mittelst der Schräubchen *k* zu befestigen; die festen Lager *h* haben die Aufgabe, die Drehaxe *A* des Apparates aufzunehmen, welche andrerseits wieder durch den festen Ansatz *l* der unteren Platte *s* gesteckt ist. Auf der Seite der Schraube *S* hat diese Platte *s* einen weiteren Ansatz *m*, welcher nahezu $^3/_4$-kreisförmig ausgehöhlt ist und das kugelförmige Ende der Schraube *S* in sich gleiten lässt; hiedurch behält die Schraube *S* bei wechselndem Angriffspunkt immer dieselbe Lage.

Durch die Scheibe *s* greift cylindrisch der Hauptkörper *B* des ganzen Apparates, aus einem Stücke bestehend, mit der auf *s* sich drehenden Scheibe s_1 nach unten und ganz oben in Schraubengewinde endigend, wie die Fig. 1 zeigt. Auf die Scheibe s_1 wirkt die durch das Gehäuse *i* greifende Schraube *C*; ist dieselbe gelüftet, so findet die Drehung der beiden Scheiben aufeinander ungehindert statt, drückt man dagegen mit derselben auf die Scheibe s_1, so legt sich letztere fest auf *s* und es ist ein Gleiten beider Platten aufeinander nicht mehr möglich; diess ist erforderlich, um das Messtischblatt, wenn es einmal horizontal ist, drehen zu können, ohne an dessen Horizontalität etwas zu verändern. Dass die Axe des Körpers *B*, wie es die Theorie erfordert, auf der Ebene, welche zwischen *s* und s_1 liegt, geneigt steht und folglich bei der Drehung von *s* auf s_1 eine Kegelfläche beschreibt, erhellt aus der Figur.

Aus einem Stück mit dem Körper *B* ist der Ansatz *n*, auf welchem

Digitized by Google

die gezahnte Scheibe *o* mittelst dreier Schräubchen *p* befestigt ist; diese Scheibe *o* mittelst des in Fig. 4 dargestellten Klemmstückes *q* dient zur feinen Horizontalbewegung des Tischblattes. Diese feine Horizontalbewegung erfolgt nach Anziehen der Klemmschraube *r* durch die in die gezahnte Scheibe eingreifende, bei α und β (Fig. 4) in Lagern liegende Schraube *t*. Die Klemme *q* hat auf Seite der Schraube *t* einen kleinen Ansatz *u*, durch welchen das Schräubchen *v*, welches auf die Feder *w* wirkt, greift.

Die Feder *w* drückt durch Vermittlung des Schräubchens *v*, da sie an dem untern Ende *j* des Klemmstücks *q* mittels der Schräubchen δ befestigt ist, die Schraube *t* gehörig an die auf *n* festsitzende gezahnte Scheibe *o*.

Auf dem oberen kegelförmigen Ende *x* des Stückes *B* ist der fernere Haupttheil *D* des Apparates aufgesteckt; dieser greift nach unten unter die Klemme *q*, während er nach oben den frei verschiebbaren Ring *y* mittelst der 3 Federn ε, welch letztere in Fig. 3 punktirt sind, und die das Tischblatt *T* tragende Scheibe *E*, alles mittels der 3 Schräubchen ε aufnimmt.

Der Ring *y*, welcher durch die Federn ε an die Platte *E* gedrückt ist, hat an drei Stellen ω Oeffnungen, durch welche die drei Schrauben *F* gehen, mittelst deren das Tischblatt auf dem Apparat befestigt wird. Die Schrauben *F* greifen in Büchsen, die in das Tischblatt eingelassen sind, und deren eine durch Punktiren in Fig. 1 angegeben ist. Will man das Tischblatt in der einen oder andern Richtung verschieben, so lüftet man die Schrauben *F* ein klein wenig, und bewirkt die erforderliche Verschiebung durch entsprechende Fortbewegung des Ringes *y*.

Die Scheibe *E* ist radförmig, sie hat drei Speichen φ und eine Nabe ϱ, welche letztere sich an die cylinderisch ringförmige Endung des Theiles *D* anlegt.

3) Gebrauch.

Bei der Aufstellung berücksichtige man, dass es wie bei allen Messinstrumenten vortheilhaft ist, den Tisch dem Augenmaass nach schon so ziemlich horizontal und annähernd richtig über dem gegebenen Punkte des Feldes zu erhalten. Ist der Tisch auf diese Weise aufgestellt und im Boden fest, so erfolgt mit Anwendung einer gut berichtigten Dosenlibelle die genaue Horizontalstellung des Tischblattes

Digitized by Google

durch theilweises Bewegen der Schraube S und durch theilweises Drehen von s auf s_1. Hiebei ist zu bemerken, dass die Schrauben F fest angezogen sein müssen, ferner dass die Schraube C gehörig gelüftet und endlich, dass die Klemmschraube r geschlossen ist. Ist der Tisch genau horizontal, so beginnt die Orientirung, einerseits durch gehöriges Verschieben des Tischblattes mittelst des Ringes y, wobei man die Schrauben F zu lüften und die Schraube c auf s_1 zu drücken hat, sowie andrerseits durch die horizontale Drehung, welche bei Lüftung der Klemmschraube r grobe Bewegungen, hingegen bei Befestigung dieser Schraube durch die Schraube t feine Bewegungen gibt.

Ich habe vielfach Gelegenheit gehabt, die Brauchbarkeit dieses Instrumentes zu prüfen, und kann nach den damit gemachten Erfahrungen dasselbe in jeder Beziehung auf's Beste empfehlen; zudem kommt dieser Tisch noch etwas billiger, als die meisten der bisher gebrauchten Messtische. Wünschenswerth wäre es:

1) wenn der eine Ansatz g der Platte e etwas niedriger wäre, indem an diesen die Scheibe s manchmal anstösst,
2) wenn die Schraube C etwas kürzer und der Theil B etwas länger wäre, indem an den Kopf der Schraube C, bei vorkommenden Stellungen des Apparates durch das Klemmstück gestossen wird, und dann
3) wenn die 3 Schrauben F bei Abnahme des Tischblattes an dem Apparate hängen blieben. (Dieselben müssen nämlich eigens aufbewahrt und transportirt werden.)

Anhang.

Noch grösseres Interesse als die vorbeschriebene Erfindung, gewährt das neue Princip der Winkelmessung des Hrn. Jähns, das wir in Folgendem skizziren wollen:

Denkt man sich (Fig. 3, Taf. XXXVII) einen verticalen Kreiscylinder durch eine Ebene, welche mit dem Horizont den Winkel α einschliesst, abgeschnitten, so schliesst die grosse Axe ab der Schnittcurve mit dem Horizont den Winkel α ein, während die kleine Axe cd horizontal ist; denkt man sich nun alle möglichen Durchmesser der Ellipse, welche zwischen ab und cd liegen, gezogen, so werden die Neigungswinkel derselben mit dem Horizont von a gegen d hin immer mehr und mehr bis zu Null abnehmen, d. h. diese Durchmesser werden mit dem Horizont alle zwischen α und Null liegenden Winkel bilden. Betrachten wir

Digitized by Google

nun die Fig. 4, Taf. XXXVII, in welcher die halbe grosse Axe mit ihrem Neigungswinkel α zum Horizont, und zwei beliebige bis zum Horizont verlängerte Halbmesser der Ellipse mit den Neigungswinkeln α_1 und α_2 verzeichnet sind und suchen wir die Beziehungen auf, welche zwischen den Höhenwinkeln α, α', α'' . . . . α^n, 0 und zwischen den horizontalen Winkeln 0, a_1, a_2, ... a_n, 90^0 stattfinden, so ist von vorneherein klar, dass wenn $(\alpha - \alpha_1)$ schon ein ziemlich kleiner Winkel, doch die zu den Höhenwinkeln α', α'', α''' . . . . gehörigen horizontalen Winkel, immer zwischen 0^0 und 90^0 liegend, jedenfalls immer viel grösser als die Höhenwinkel sind. — Da Winkel α für ein bestimmtes Instrument bekannt ist, d. h. angenommen wird, so können wir als bekannt ansetzen:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{h}{r},$$

und weiter:

$$\operatorname{tg} \alpha' = \frac{h}{r'} \text{ wenn } NN = r',$$

$$\operatorname{tg} \alpha'' = \frac{h}{r''} \text{ wenn } MO = r'',$$

. . . . . ,

. . . . . .

Ist nun $\alpha' = \alpha - \frac{1}{n}\alpha$, wobei n eine beliebige ganze Zahl ist,

$$\alpha'' = \alpha - \frac{2}{n}\alpha,$$

$$\alpha''' = \alpha - \frac{3}{n}\alpha,$$

. . . . . ,

. . . . . ,

so hat man auch

$$\operatorname{tg}\left(\alpha - \frac{1}{n}\alpha\right) = \frac{h}{r'},$$

$$\operatorname{tg}\left(\alpha - \frac{2}{n}\alpha\right) = \frac{h}{r''},$$

$$\operatorname{tg}\left(\alpha - \frac{3}{n}\alpha\right) = \frac{h}{r'''},$$

. . . . . ,

. . . . . ;

hieraus folgt:

Digitized by Google

$$r' = \frac{h}{\operatorname{tg}(\alpha - \frac{1}{n}\alpha)},$$

$$r'' = \frac{h}{\operatorname{tg}(\alpha - \frac{2}{n}\alpha)},$$

$$r''' = \frac{h}{\operatorname{tg}(\alpha - \frac{3}{n}\alpha)},$$

. . . . . ,

. . . . . ;

ferner ist:

$$\cos a_1 = \frac{r}{r'},$$

$$\cos a_2 = \frac{r}{r''},$$

$$\cos a_3 = \frac{r}{r'''},$$

. . . . . ,

. . . . . ;

substituiren wir hier für r', r'', r''' die Werthe von vorhin, so folgt:

$$\cos a_1 = \frac{r}{h}.\operatorname{tg}(\alpha - \frac{1}{n}\alpha) = \operatorname{cotg}.\alpha.\operatorname{tg}(\alpha - \frac{1}{n}\alpha),$$

$$\cos a_2 = \frac{r}{h}.\operatorname{tg}(\alpha - \frac{2}{n}\alpha) = \operatorname{cotg}.\alpha\ \operatorname{tg}(\alpha - \frac{2}{n}\alpha),$$

$$\cos a_3 = \frac{r}{h}.\operatorname{tg}(\alpha - \frac{3}{n}\alpha) = \operatorname{cotg}.\alpha\ \operatorname{tg}(\alpha - \frac{3}{n}\alpha),$$

. . . . . ,

. . . . . ;

aus diesen Relationen erhält man für ein bestimmtes α die den zwischen α und Null liegenden Höhenwinkeln entsprechenden horizontalen Winkel a.

Nehmen wir z. B. $\alpha = 10^0$, so erhalten wir für die Höhenwinkel 10^0, 9^0, 8^0, ... 2^0, 1^0, 0^0 die zugehörigen horizontalen Winkel, indem wir in obigen Relationen $n = 10$ setzen, und zwar:

$$\cos a_0 = \operatorname{cotg}.10^0.\ \operatorname{tg}10^0,$$
$$\cos a_1 = \operatorname{cotg}\ 10^0.\ \operatorname{tg}\ 9^0,$$
$$\cos a_2 = \operatorname{cotg}\ 10^0.\ \operatorname{tg}\ 8^0,$$
$$\cos a_3 = \operatorname{cotg}\ 10^0.\ \operatorname{tg}\ 7^0,$$
$$\cos a_4 = \operatorname{cotg}\ 10^0.\ \operatorname{tg}\ 6^0,$$
$$\cos a_5 = \operatorname{cotg}\ 10^0.\ \operatorname{tg}\ 5^0,$$
$$\cos a_6 = \operatorname{cotg}\ 10^0.\ \operatorname{tg}\ 4^0,$$

Digitized by Google

$$\cos a_7 = \operatorname{cotg} 10^0 . \operatorname{tg} 3^0,$$
$$\cos a_8 = \operatorname{cotg} 10^0 . \operatorname{tg} 2^0,$$
$$\cos a_9 = \operatorname{cotg} 10^0 . \operatorname{tg} 1^0,$$
$$\cos a_{10} = \operatorname{cotg} 10^0 . \operatorname{tg} 0^0, \text{ also:}$$

$$a_0 = 0^0\ 00'\ 00'' ,$$
$$a_1 = 26^0\ 4'\ 19'',1,$$
$$a_2 = 37^0\ 9'\ 03'',6,$$
$$a_3 = 45^0\ 51'\ 55'',6,$$
$$a_4 = 53^0\ 24'\ 38'',3,$$
$$a_5 = 60^0\ 15'\ 10'',1,$$
$$a_6 = 66^0\ 38'\ 08'',8,$$
$$a_7 = 72^0\ 42'\ 33'',6,$$
$$a_8 = 78^0\ 34'\ 38'',3,$$
$$a_9 = 84^0\ 19'\ 07'',8,$$
$$a_{10} = 90^0\ 00'\ 00'' .$$

Der Horizontalquadrant, welcher die hier berechneten Winkel trägt, ist in Fig. 5 Taf. XXXVII dargestellt. Man sieht, dass zwischen a_9 und a_{10} noch immer eine Differenz von mehr als 5' stattfindet, würde man also die Winkel a für je eine Minute Aenderung des Höhenwinkels bestimmen,[1]) so träfe hierauf annähernd immer noch der zehnte Theil von 5', also circa 30 Minuten, welche auf einem Kreise von 7 bis 8 Zoll Durchmesser mit freiem Auge noch ganz gut abzulesen sind; noch viel kleinere Grössen kann man aber in den andern Winkelräumen mit freiem Auge ablesen; für einen Winkel α, der kleiner als 10', ist eine noch grössere Genauigkeit dieser Ablesungen mit freiem Auge zu erreichen; doch liegt a für den Zweck der Distanzmessungen in gewisse Grenzen eingeschlossen.

In den richtig getheilten Horizontalkreis werden natürlich nicht die berechneten Horizontalwinkel a geschrieben, sondern sogleich die Höhenwinkel an die betreffende Stelle gesetzt.

1) Diese Bestimmung geschieht natürlich ebenso, wie es oben für je 1° Aenderung gezeigt wurde.

Digitized by Google

Kleinere Mittheilungen.

Deleuil's genaue Wagen.

(Hiezu Tafel XL.)

Als der Herausgeber die Abhandlung über die Wage, die sich am Anfange des ersten Bandes unseres Repertoriums befindet, verfasste, waren ihm die Wagen des Herrn Deleuil im Detail noch unbekannt. Im Junihefte des Bulletin de la Société d'Encouragement pour l'industrie national befindet sich eine Abbildung einer Wage von Deleuil, welche wir für unsere Leser auf Taf. XL copiren liessen.

Fig. 1 gibt die Vorderansicht, Fig. 2 die Seitenansicht dieser Wage. *A* ist ein Sockel von Gusseisen; *B* ist die gleichfalls gegossene Tragsäule, welche oben an einem horizontalen Arme die Achatplatte trägt, auf der die Schneide aufliegt; *C* ist der Wagbalken; *D*, *D* sind zwei im verticalen Sinne bewegliche Arme, die zur Arretirung des Balkens und der Schalen dienen. *E* ist die Leitstange für die Bewegung dieser Arme, *F* der Hebel, mittelst dessen man die Stange heben und senken kann. *G*, *G* sind Bügel, die je mit einer Achatplatte versehen sind; *H*, *H* die Wagschalen. *I*, *I* sind Stangen an den Wagschalen, um die Körper daran aufzuhängen, deren Dichtigkeit bestimmt werden soll, *J* ein kleines Rad, womit der Hebel *F* in Bewegung gesetzt wird. Die Figuren 3 und 4 zeigen die Art und Weise der Befestigung der Schneiden.

F. W. Breithaupt & Sohn. Wage mit vertical stehendem Präcisionsbogen.

(Hiezu Tafel XL.)

Hr. Fr. Breithaupt hat uns die auf Tafel XL dargestellte Zeichnung dieser sehr zweckmässigen Vorrichtung an der Wage mit einer kurzen brieflichen Mittheilung eingesandt. Er bemerkt unter Anderm: „Der horizontale Bogen bewirkt eine einseitige Belastung der Schneide, welche jedenfalls nachtheilig ist. Dieser Missstand wird durch Vertical-Aufstellung des Bogens vollständig beseitigt, wodurch auch noch das Gewicht des Bogens verringert wird, indem die Form

Digitized by Google

desselben eine einfachere ist. Während man früher die Bewegung des Zeigers von der Decke des Wagekastens aus bewerkstelligen musste, geschieht diese jetzt sehr bequem von der Vorderseite desselben aus."

Das Bothe'sche Tangenten-Photometer.

Herr Bothe hat die Verschiebung der einen oder andern Flamme beim Bunsen'schen Photometer dadurch umgangen, dass der den transparenten Fleck enthaltende Schirm, versehen mit einer die Ablesung ermöglichenden Alhidade, drehbar aufgestellt wird. Die Helligkeit einer beleuchteten Fläche ist, abgesehen von der Lichtstärke der Quelle und ihrer Entfernung, abhängig von dem Winkel der Einstrahlung; sie ist proportional dem Cosinus des Einfallswinkels, dem Sinus des Neigungswinkels der Strahlen gegen die Fläche. Stellt man also die zu vergleichenden Lichtquellen in gleicher Entfernung so auf, dass ihre Strahlen sich rechtwinklig kreuzen, und bringt den drehbaren Schirm der Art an, dass er auf beiden Seiten durch diese beleuchtet wird, so wird bei gleicher Lichtstärke der Quellen der Einstrahlungswinkel auf beiden Seiten gleich, also $= 45^0$ sein müssen, wenn der Fleck unsichtbar sein soll. Bei ungleicher Lichtstärke aber wird man den Schirm der helleren Flamme zu-, der schwächeren abdrehen müssen, um ein Verschwinden des Fleckes zu erzielen.

Ist der bezügliche Winkel für die Flamme von der Helligkeit $I = \alpha$, dann wird er für die andere $I_1 = 90 - \alpha$ sein und es resultirt die Gleichung

$$I \sin \alpha = I_1 \sin (90 - \alpha)$$
$$I \operatorname{tg} \alpha = I_1$$

Es lässt sich also die Lichtstärke der einen Quelle im Verhältniss zur andern durch die Tangente des Drehungswinkels messen.

Das Instrument selbst besitzt folgende Einrichtung. In eine cylindrische Büchse von 1 Decimeter Höhe und Durchmesser, welche auf einem mit Stellschrauben versehenen Stativ hoch und niedrig gestellt werden kann, münden vier sich rechtwinklig gegenüberstehende Röhren von 3 Centimeter Weite, von denen zwei konische Ansätze, die beiden anderen schwache Lupen tragen. In der Büchse befindet sich der Schirm, drehbar um eine verticale Axe, oben mit einer Alhidade versehen, welche sich über dem horizontalen Theilkreise bewegt, dessen Nullpunkt genau über der Axe zweier sich gegenüber-

Digitized by Google

stehenden Röhren liegt. Der Nullpunkt der Alhidade hingegen fällt in die Ebene des Papierschirmes; der Winkel des Schirmes mit der Verticalebene durch die Nullpunkte des Kreises lässt sich durch Nonien auf 10 Minuten ablesen. Die konischen Ansatzröhren, welche sich rechtwinklig kreuzen und die einfallenden Strahlen gegen den Papierschirm führen, besitzen eine Vorrichtung, um Blendungen und mattgeschliffene oder farbige Glasplatten anzubringen, deren Anwendung bei sehr starkem Lichte oder bei Flammen von ungleicher Helligkeit in den einzelnen Theilen vortheilhaft wirkt.

Alle inneren Theile sind sorgfältig geschwärzt; auch finden sich selbstverständlich die nöthigen Vorrichtungen zu Correctionen behufs der Herstellung möglichster Richtigkeit des Instrumentes selbst.

Soll dasselbe gebraucht werden, so wird die Verticalaxe genau über den Scheitelpunkt eines auf den Tisch gezeichneten rechten Winkels gebracht, auf dessen Schenkeln in den bezüglichen Erscheinungen die beiden zu vergleichenden Lichtquellen stehen, dann der Schirm so gedreht, bis für den durch die eine Ocularröhre schauenden Beobachter der transparente Fleck vollkommen verschwunden ist. Hierauf folgt eine zweite Beobachtung durch die andere Ocularröhre ganz in derselben Weise; das Mittel aus beiden abgelesenen Winkeln gibt den bei Berechnung der Tangente einzusetzenden Werth.

Ein Schwärzen der Wände des Beobachtungszimmers ist überflüssig; es genügt, hinter den Flammen dunkle, nicht glänzende Schirme von solcher Grösse aufzustellen, dass die konischen Ansatzröhren, bis zu ihnen verlängert gedacht, dieselben noch decken würden.

(Poggendorf's Annalen. 1866. Nr. 8.)

Ueber den neuen Meridiankreis der Leipziger Sternwarte.

Herr Prof. Bruhns berichtet in den Astronomischen Nachrichten Nr. 1606 über dieses Instrument folgendermassen:

In der letzten Zeit ist in der hiesigen Sternwarte ein neues grösseres Instrument aufgestellt.

Bisher war im Meridianzimmer ein kleines Mittagsrohr von nur 2 Fuss Brennweite, welches zu den erforderlichen Zeitbestimmungen gebraucht wurde. Ein grosser Meridiankreis wurde 1864 bei den Herren Pistor und Martins bestellt, im Juni d. J. vollendet und an die Stelle des kleinen Mittagsrohres aufgestellt, und seit dem 1. Juli

Digitized by Google

beobachtet Hr. Dr. Engelmann an diesem Instrumente. Der Meridiankreis hat dieselben Dimensionen wie die Kreise in Leiden und Kopenhagen, in der Construction aber einige von mir gewünschte Aenderungen erhalten: er hat ein Fernrohr von 8 Fuss Brennweite und 6 Par. Zoll Oeffnung, 2 Kreise von 3 Fuss im Durchmesser, getheilt von 2 zu 2 Minuten und jeder ablesbar durch 4 an starken Messingarmen befestigte Mikroskope, deren Trommeln Bogensecunden direct ablesen und Zehntel von Secunden abschätzen lassen. Zur Bestimmung der Theilungsfehler sind 2 Hilfsmikroskope mit einem Hilfsarm vorhanden. Objectiv und Ocular können vertauscht werden; das Fadennetz besteht aus 7 Gruppen von 1, 3, 3, 5, 3, 3, 1 Verticalfäden, welche 8, 4, 4, 4, 8, 4, 4, 4, 8, 4, 4, 4, 4, 4, 8, 4, 4, 4, 8, 4, 4, 4, 8 Zeitsecunden im Aequator von einander entfernt sind, und aus 2 Horizontalfäden von 15 Bogensecunden Entfernung. Sowohl in horizontaler als in verticaler Richtung ist je ein beweglicher Faden vorhanden. Die Fadenbeleuchtung geschieht durch die Axe des Fernrohrs und wird durch 2 Gasflammen in etwa 6 Fuss Entfernung von der Mitte des Instrumentes bewerkstelligt; durch einen sehr sinnreichen Apparat mit Prismen hat man nach Belieben Feld- oder Fadenbeleuchtung in beliebiger Helligkeit, auch kann man durch farbige Gläser farbiges Licht erhalten. Durch dieselben Gasflammen werden auch die Kreise beleuchtet, so dass man sie ohne anderes künstliches Licht ablesen kann.

Das Instrument kann durch einen gusseisernen, auf Eisenschienen laufenden Umlegebock in 2 Minuten umgelegt werden; das Niveau ist ein Hängeniveau, dessen Libelle so getheilt ist, dass jeder Theil etwa 1 Bogensecunde beträgt. Zur Bestimmung des Nadirpunktes wird unter dem Instrument zwischen die Pfeiler ein Brett gelegt und auf dieses ein Quecksilberhorizont gestellt, und bei nur einigermassen ruhiger Luft kann der Nadirpunkt zu jeder Tageszeit bestimmt werden. Der Quecksilberhorizont ist eine amalgamirte Kupferschale und durch eine communicirende Röhre mit einem hölzernen Quecksilbergefäss in Verbindung. Sobald in dieses durch eine Schraube ein Holzklotz eingesenkt wird, steigt das Quecksilber in die Kupferschale hinein, so hoch, als man es braucht, und sobald man mit den Beobachtungen fertig ist, dreht man die Schraube zurück, der Holzklotz steigt von selbst und das Quecksilber fliesst aus der Kupferschale in das hölzerne Gefäss zurück. Die Pfeiler sind aus Sandstein, jeder hat einen Rauminhalt von 30 Cubikfuss und wiegt über 50 Centner.

Digitized by Google

Nach den wenigen, bis jetzt von Hrn. Dr. Engelmann gemachten Beobachtungen halten sich die Fehler des Instrumentes längere Zeit constant, auch der Nadirpunkt ändert sich nicht und die Untersuchung der Schrauben in den Mikroskopen zeigen sowohl im periodischen als fortschreitenden Gang nur ganz unbedeutende Fehler. 2 Collimatoren werden noch von den Herren Pistor & Martins angefertigt. und sollen im kommenden Winter fertig werden.

Bibliographie.

Carl Neumann. Die Haupt- und Brenn-Punkte eines Linsen-Systems. Elementare Darstellung der durch Gauss begründeten Theorie. Leipzig, Teubner 1866. — Eine für technische Unterrichtsanstalten und deren Lehrer gewiss sehr wichtige literarische Erscheinung.

P. Harting. Das Microscop. Theorie, Gebrauch, Geschichte und gegenwärtiger Zustand desselben. Deutsche Originalausgabe, vom Verfasser revidirt und vervollständigt. Herausgegeben von Dr. Fr. Wilh. Theile, Grossherzoglich sächsischem Medicinalrathe. Zweite, wesentlich verbesserte und vermehrte Auflage. Braunschweig, Vieweg, 1866. — Das rühmlichst bekannte Harting'sche Werk erscheint in dieser zweiten Auflage in drei gesonderten Bänden, wovon uns bereits die beiden ersten vorliegen.

Dr. Francis Place. Theorie und Construction der Neigungswaage (Zeigerwaage). Mit besonderer Rücksicht auf möglichste Grösse und vollkommene Gleichheit der Scalentheile. Ein Handbuch für Waagenbauer. Weimar 1867. Bernhard Friedrich Voigt.

Carl Joseph Rospini. Thermometer, Barometer und Hygrometer. Zweite Auflage. Wien 1867. A. Pichler's Wittwe & Sohn.

D. van Monckhoven. Photographische Optik. Beschreibung der photographischen Objective und der Vergrösserungs-Apparate. Aus dem Französischen übersetzt von A. Martin. Wien 1866. Oscar Kramer.

Andreas Lielegg. Die Spectralanalyse. Weimar 1867. Bernhard Friedrich Voigt.

Francis Bashforth. Description of a Chronograph, London 1866. Es ist von dieser uns vom Herrn Verfasser gütigst eingesandten Abhandlung ein Auszug vorbereitet, der im nächsten Hefte erscheinen wird.

Digitized by Google

Register.

Die Zahlenangaben sind die Seitenzahlen.

Actinograph von Pocy 60.

Apparat zu Vorlesungsversuchen über die Gas- und Dampfspannungen von Frhr. v. Feilitsch 24.

Apparat zur Untersuchung der Compressibilität fester und flüssiger Körper von Regnault-Silbermann 73.

Apparat zur Untersuchung der Compressibilität der Gase von Regnault-Silbermann 76.

Apparat zur Untersuchung der Ausdehnung der Gase von Regnault-Silbermann 78.

Apparate zur Bestimmung der Dichte von Gasen und des Ausdehnungscoëfficienten derselben bei schwachen Drucken von Regnault-Silbermann 81.

Apparat zur Bestimmung der Spannkraft der Dämpfe von Regnault-Silbermann 88.

Apparat zur Bestimmung der specifischen Wärme fester und flüssiger Körper von Regnault-Silbermann 90.

Apparat zur Bestimmung der specifischen Wärme der Gase von Regnault-Silbermann 92.

Apparat zur Bestimmung der latenten Wärme der Dämpfe von Regnault-Silbermann 101.

Augenmodell von Beetz 302.

August's Heliostat 3, 15.

Barometer, selbstregistrirendes der Berner Sternwarte 172.

Bashforth, dessen Schrift: Description of a Chronograph angezeigt 316.

Beetz, Vorlesungsversuche 298. Theilungen an Vorlesungsapparaten 298. Schiefe Ebene 298. Mariotte'sche Röhre 298. Gefärbte Oelkugel 300. Gesetz des Schwimmens 300. Vorlesungsthermometer 300. Augenmodell 302.

Bertin, dessen Schrift: Nouveaux opuscules de Physique angezeigt 64.

Bessel, Calibrirungsmethode am Thermometer 270.

Bewölkungsmesser, selbstregistrirender der Berner Sternwarte 191.

Bothe's Tangentenphotometer 313.

Breithaupt & Sohn, Netze und Kreismicrometer auf Glas 34.

Breithaupt, G., dessen kleiner Grubentheodolith 224.

Breithaupt, Verticaler Präcisionsbogen an der Wage 312.

Bruhns, Ueber den Leipziger Meridiankreis 314.

Carl, dessen Tachytrop 27. Die Schraube in ihrer Anwendung auf physikalische, mathematische und astronomische Instrumente 37. Eine neue Form des Tachytropen 243. Ueber Thermometer 249.

Celsius, dessen Thermometerscala 257, 259.

Chronometer mit electrischer Registrirung von Hirsch 245.

Contactapparat von Hansen 227.

Darlot's photographisches Universal-Objectiv 62.

De la Rue und die Photographie des Himmels 202.

Deleuil's Wage 312.

De l'Isle, dessen Thermometerscala 259.

Digitized by Google

De Luc, Ueber Bestimmung des Nullpunktes am Thermometer 261. Ueber Bestimmung des Siedepunkts 264.
Distanzmesser. Ueber dieselben ohne Standlinie und Winkelmessung von Martins 29.
Dutirou's Spectro-Refractometer 63.
Ebene, Schiefe von Beetz 298.
Egen's Apparat zur Nullpunktsbestimmung am Thermometer 263.
Eisenkohlenkette von Gérardin 158.
Electromagnetischer Motor von Molin 159.
Fahrenheit's Heliostat 2. Dessen Thermometerscala 257, 258.
v. Feilitzsch, Apparat zu Vorlesungsversuchen über die Gas- und Dampfspannungen 24.
Feuchtigkeitsmesser, selbstregistrirender der Berner Sternwarte 189.
Fischer, E., Der neue Jähns'sche Messtisch 305.
Foucault's Heliostat 7. Dessen Regulator zur Herstellung gleichförmiger Bewegung bei Uhrwerken 289.
Fraunhofer's Heliostat 10. Modificirt von Reusch 22.
Gambey's Heliostat 3.
Geissler'sche Röhren. Anwendung derselben, um unter Wasser Licht zu erzeugen, von Gervais 158.
Gérardin's Eisenkohlenkette 158.
Gervais, Anwendung der Geissler'schen Röhren, um unter Wasser Licht zu erzeugen 158.
Grubentheodolith, kleiner von G. Breithaupt 224.
Hansen's Contactapparat 227.
Harting, dessen Schrift: Das Mikroskop angezeigt 316.
Hartnack und **Prazmowski**, deren Polarisationsprisma 218.
Hédouin, Anwendung der Electricität zu unterseeischen Tiefenmessungen 158.
Heliostaten. Zur Theorie derselben von Radau 1 ff. Ueber Heliostaten von Zech 10.
Heliostaten, Zusatz zu dem Aufsatz über dieselben von Radau 234.
Heliostat von Silbermann 1, 17.
„ Fahrenheit 2.
„ August 3, 15.
„ O. v. Littrow 3.
„ Gambey 3.
„ S'Gravesande 4.
„ Foucault 7.
„ Fraunhofer 10.
„ Reusch 22.
Hirsch und **Plantamour**, deren Bestimmung der persönlichen Gleichungen 115.
Hirsch, Marinechronometer mit electrischer Registrirung 245.
Hypsometer. Ueber ein solches mit directer Ablesung von Radau 238.
Jähns Messtisch 305. Dessen Winkelmessung 308.
Klemmschrauben 42.
Kohlenlicht-Regulatoren. Zur Literatur derselben 159.
Krist, Regnault's Apparate zur Untersuchung der Compressibilität, Ausdehnung, specifischen Wärme u. s. w. in der ihnen von J. Silbermann gegebenen Einrichtung 65.
Lamont, Ueber die Eispunktsbestimmung am Thermometer 262. Dessen Calibrirung des fertigen Thermometers 271.
Liebig's Methode zur Herstellung von Silberspiegeln 286.
Lielegg, dessen Schrift „Die Spectral-Analyse" angezeigt 316.
Littrow O. v., Heliostat 3.
Luftpumpe von Silbermann 69.
Marine-Chronometer mit electrischer Registrirung von Hirsch 245.
Mariotte'sche Röhre von Beetz 298.
Martin's Methode zur Herstellung von Silberspiegeln 287.
Martins, Ueber Distanzmesser ohne Standlinie u. ohne Winkelmessung 29.
Meridiankreis. Ueber den Leipziger von Bruhns 314.
Messtisch von Jähns 305.
Metallspiegel. Ueber die Herstellung derselben von Quincke 278.
Meyerstein's Prismensphärometer 58.

Digitized by Google

Micrometer auf Glas von Breithaupt 34.
Micrometerschraube 52.
Mignerat's Perspectometer 56.
Molin's Electromagnetischer Motor 159.
Monckhoven, dessen „Photographische Optik" angezeigt 316.
Motor. Electromagnetischer von Molin 159.
Neumann, dessen Schrift: Die Haupt- und Brennpunkte eines Linsen-Systems angezeigt 316.
Nicol'sches Prisma. Missstände bei demselben 218.
Nullpunkt am Thermometer. Verrückung desselben 268.
Oelkugel, gefärbte von Beetz 300.
Ozonograph von Pocy 60.
Pachytrop. Erklärung dieses Wortes 244 Note.
Persönliche Gleichungen. Ueber dieselben von Radau 115.
Person, Verrückung des Nullpunkts am Thermometer 269.
Perspectometer von Mignerat 56.
Petitjean, dessen Methode zur Herstellung von Silberspiegeln 279.
Photometer von Bothe 313.
Photographie des Himmels, Geschichte derselben 202.
Pistor u. Martins, Theorie der Fehler des Prismenkreises derselben, von Zech 106.
Place, dessen Schrift über die Neigungswage angezeigt 316.
Plantamour u. Hirsch, deren Bestimmung der persönlichen Gleichungen 115.
Pocy's Aktinograph und Ozonograph 60.
Polarisationsprisma von Hartnack und Prazmowski 218.
Präcisionsbogen, verticaler an der Wage von Breithaupt 312.
Prazmowski, dessen Untersuchungen über die Personalfehler 151.
Prazmowski und Hartnack, deren Polarisationsprisma 218.
Prisma. Polarisationsprisma von Hartnack u. Prazmowski 218. Nicol'sches Prisma. Missstände bei demselben 218.
Prismen zu Spectroscopen 241.
Prismenkreis von Pistor und Martins. Theorie der Fehler desselben von Zech 106.
Prismensphärometer v. Meyerstein 58.
Quincke, Ueber die Herstellung von Metallspiegeln 278.
Radau, Zur Theorie der Heliostaten 1. Ueber die persönlichen Gleichungen 115. Verschiedene Mittheilungen desselben 234. Eine Berichtigung 234. Zusatz zu dem Aufsatz über Heliostaten 234. Hypsometer mit directer Ablesung 239. Construction von Spectroscopen ohne Abweichung mit 1 oder 2 Prismen 241.
Reaumur, dessen Thermometer-Scala 257, 259. Dessen Nullpunktsbestimmung am Thermometer 260.
Regenmesser, selbstregistrirender der Berner Sternwarte 186.
Regnault's Apparate in der ihnen von J. Silbermann gegebenen Einrichtung 65.
Regulator zur Herstellung gleichförmiger Bewegung bei Uhrwerken von Foucault 289.
Reusch, Einrichtung des Fraunhofer'schen Heliostaten 22.
Rospini, dessen Schrift: „Thermometer, Barom. und Hygrom." angezeigt 316.
Rudberg's Apparat zur Nullpunktsbestimmung am Thermometer 263. Apparat zur Siedepunktsbestimmung 265. Dessen Calibrirungsmethode am Thermometer 275.
Schraube. Die Anwendung derselben auf physikalische, mathematische u astronomische Instrumente von Carl 37.
Secchi, Neuer Stern-Spectralapparat 157.
S'Gravesande's Heliostat 4.
Silbermann's Heliostat 1, 17. Dessen Einrichtung der Regnault'schen Apparate 65. Dessen Luftpumpe 69.
Spectro-Refractometer von Dutirou 63.
Spectroscop. Ueber Construction von Spectroscopen ohne Abweichung mit 1 oder 2 Prismen von Radau 241.
Spiegel. Ueber die Herstellung von Metallspiegeln von Quincke 278.

Digitized by Google

Stern-Spectralapparat von Secchi 157.
Tachytrop von Carl 27.
Tachytrop, neue Form desselben von Carl 243.
Tangentenphotometer von Bothe 313.
Theilungen an Vorlesungsapparaten von Beetz 298.
Theodolith. Breithaupt's kleiner Grubentheodolith 224.
Thermometer, selbstregistrirendes der Berner Sternwarte 164.
Thermometer, über dieselben von Carl 249. Erfindung derselben 251. Verschiedene Scalen 257. Verfertigung 251. Eispunktsbestimmung 260. Bestimmung des Siedepunkts 264. Verrückung des Nullpunkts 268. Correction des Calibers 269.
Thermometer für Vorlesungen von Beetz 300.
Tiefenmessungen. Anwendung der Electricität zu unterseeischen Tiefenmessungen von Hédouin 158.
Universalobjectiv, photographisches von Darlot 62.
Universal-Registrir-Apparat der Berner Sternwarte 195.
Vorlesungsversuche von W. Beetz 298.
Wage von Deleuil 312. Verticaler Präcisionsbogen an derselben von Breithaupt 312.
Wild, die selbstregistrirenden meteorologischen Instrumente der Sternwarte in Bern 161.
Windrichtungsmesser, selbstregistrirender der Berner Sternwarte 180.
Windstärkemesser, selbstregistrirender der Berner Sternwarte 182.
Winkelmessung von Jähns 308.
Wolf's Bestimmung der persönlichen Gleichungen 126.
Zech, Ueber Heliostaten 10. Desselben Theorie der Fehler des Prismenkreises von Pistor und Martins 106.

Druckfehler.

Tafel XXXV, Fig. 2 fehlt oben am Ende der schiefen Ebene der Buchstabe *A*.

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google

Digitized by Google